

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOPRAK AKİFER ARITMA SİSTEMLERİNDE TOPRAK
TİPLERİNİN ARITMA VERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLAYDA TOP

DENİZLİ, OCAK - 2020

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TOPRAK AKİFER ARITMA SİSTEMLERİNDE TOPRAK
TİPLERİNİN ARITMA VERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLAYDA TOP

DENİZLİ, OCAK - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

İLAYDA TOP tarafından hazırlanan “**TOPRAK AKİFER ARITMA SİSTEMLERİNDE TOPRAK TİPLERİNİN ARITMA VERİMİNE ETKİSİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 17.01.2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

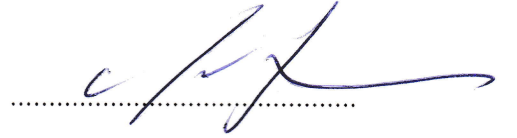
Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mesut AK
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü



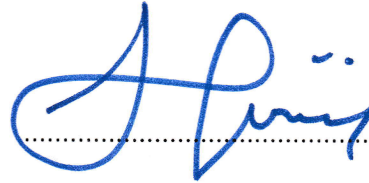
Üye
Prof. Dr. Vedat UYAK
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü



Üye
Doç. Dr. Serkan EKER
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
~~29/01/2020~~ tarih ve ~~05/23~~..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez alışması PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL
ARAŞTIRMA KOORDİNATÖRLÜĞÜ tarafından 2019FEBE006 nolu proje
ile desteklenmiŐtir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İLAYDA TOP



ÖZET

TOPRAK AKİFER ARITMA SİSTEMLERİNDE TOPRAK TİPLERİNİN ARITMA VERİMİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLAYDA TOP

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ MESUT AK)

DENİZLİ, OCAK - 2020

Dünyada mevcut su kullanımı ve su kaynaklarının azalması temiz su kaynaklarına olan talebin gün geçtikçe artması ve var olan kaynakların kirlenme tehidi altında bulunması dikkat edilmesi gereken bir konu haline almıştır. Tez kapsamında ikincil arıtılmış atıksuyun bir doğal arıtma yöntemi olan Toprak Akifer Arıtma Sistemi'nden süzülmesi sırasında ortaya çıkan atıksu kalite değişiklikleri baz alınarak iki farklı toprak tipinin arıtma verimi karşılaştırılmıştır. Atıksuyun filtrasyonu ve numunelerinin toplanması için 100 cm uzunluğunda ve iç çapı 20 cm olan iki kolon hazırlanmış, sistem 3 gün ıslak/4 gün kuru döngüde çalıştırılmıştır. 10 hafta boyunca devam eden deneysel çalışmalar Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma sahasında alınan killi tın bünyeli ve tın bünyeli toprak tipleri ve Denizli Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmış ikincil arıtılmış atıksu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 10, 30, 55, 75 cm derinliklerinden alınan su numunelerinde sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, toplam organik karbon, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam azot ve toplam fosfat analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda killi tın bünyeli toprağın hem organik maddelerin hem de besin maddelerinin giderilmesinde tın bünyeli toprağa göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Doğal Arıtım, Toprak Kolonu, Toprak Tipleri, İkincil Arıtılmış Atıksu, Toprak Akifer Arıtma Sistemi (TAAS)

ABSTRACT

EFFECT OF SOIL TYPES ON TREATMENT EFFICIENCY IN SOIL AQUIFER TREATMENT SYSTEMS

MSC THESIS

İLAYDA TOP

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. MESUT AK)

DENİZLİ, JANUARY 2020

The use of water and the decrease in water resources in the world has become an issue that needs to be considered as the demand for clean water resources is increasing day by day and the existing resources are under the threat of pollution. Within the scope of the thesis, the treatment efficiency of two different soil types were compared based on the wastewater quality changes that occurred during the filtration of secondary treated wastewater from Soil Aquifer Treatment System which is a natural treatment method. Two columns of 100 cm length and 20 cm inner diameter were prepared for filtration and collection of wastewater and the system was operated in 3 days wet/4 days dry cycle. Experimental studies were carried out for 10 weeks using clay loamy soil and loamy soil types obtained from research area of Aydın Adnan Menderes University Faculty of Agriculture and secondary treated wastewater from Denizli Central Wastewater Treatment Plant. Temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, total organic carbon, chemical oxygen demand, total nitrogen and total phosphate were analyzed in water samples taken from depths of 10, 30, 55, 75 cm. As a result of the studies, it was determined that clay loamy soil was more effective in removing both organic matter and nutrients than loamy soil.

KEYWORDS: Naturel Teratment, Soil Column, Soil Types, Secondary Treated Wastewater, Soil Aquifer Treatment Systems (SAT)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Arıtma Sistemleri	3
1.2.1 Fiziksel Arıtma Sistemleri	3
1.2.2 Kimyasal Arıtma Sistemleri.....	3
1.2.3 Biyolojik Arıtma Sistemleri.....	4
1.2.4 İleri Arıtma Sistemleri	4
2. TOPRAK AKİFER ARITMA SİSTEMİ	5
2.1 TAAS Giderim Mekanizmaları ve Kirleticiler.....	6
2.2 TAAS Veriminde Etkili Olan Parametreler	8
2.2.1 Ön Arıtım Derecesi	9
2.2.2 Islak/Kuru Döngüsü	10
2.2.3 Toprak Tipi	11
2.2.4 Hidrolik Alıkonma Süresi ve Derinlik.....	12
3. LİTERATÜR ÖZETİ	14
4. MATERYAL VE METOT	18
4.1 Toprak Kolon Sisteminin Tasarımı	18
4.1.1 Toprak Kolonlarının Çalıştırılması.....	20
4.2 Toprak Örnekleri ve Özellikleri	20
4.3 İkincil Arıtılmış Atıksu Örnekleri	21
4.4 Deneysel Çalışmalar ve Analitik Yöntemler.....	22
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
5.1 Kolonların Hidrolik Özelliği	24
5.2 pH Değişimleri	24
5.3 Elektriksel İletkenlik (EC) Değişimleri.....	25
5.4 Sıcaklık Değişimleri	26
5.5 Çözünmüş Oksijen (ÇO) Değişimleri	27
5.6 Toplam Organik Karbon (TOK) Değişimleri.....	28
5.7 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Değişimleri	32
5.8 Toplam Azot (N) Değişimleri	36
5.9 Toplam Fosfor (P) Değişimleri	39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
7. KAYNAKLAR	47
8. ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: TAAS kesit görünümü	5
Şekil 2.2: TAAS bileşenleri	6
Şekil 4.1: Toprak kolonları	18
Şekil 4.2: Kolonlar ve deney düzeneği	19
Şekil 5.1: KTBT ve TBT kolonlarında TOK giderim verimi	29
Şekil 5.2: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki TOK konsantrasyonu değişiklikleri	31
Şekil 5.3: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki TOK konsantrasyonu değişiklikleri	31
Şekil 5.4: KTBT ve TBT kolonlarında KOİ giderim verimi	33
Şekil 5.5: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki KOİ konsantrasyonu değişiklikleri	35
Şekil 5.6: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki KOİ konsantrasyonu değişiklikleri	35
Şekil 5.7: KTBT ve TBT kolonlarında toplam- N giderim verimi	37
Şekil 5.8: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam-N konsantrasyonu değişiklikleri	38
Şekil 5.9: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam- N konsantrasyonu değişiklikleri	38
Şekil 5.10: KTBT ve TBT kolonlarında toplam- P giderim verimi	41
Şekil 5.11: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam- P konsantrasyonun değişiklikleri	43
Şekil 5.12: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam- P konsantrasyonun değişiklikleri	43

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Dünya çapında su dağılımı.	1
Tablo 2.1: TAAS için etkili kirlilik giderme mekanizmalarının uzun dönem performansları	7
Tablo 2.2: Farklı kademelerde arıtılmış atıksular için TAAS'deki ÇOK giderim verimleri	9
Tablo 2.3 : 5 günlük sabit kuru döngüde farklı ıslak döngüler için ikincil arıtılmış atıksuda azot giderimi.	11
Tablo 2.4: İkincil arıtılmış atıksu kullanılan TAAS'de toprak tiplerinin ÇOK giderimi üzerindeki etkisi.....	11
Tablo 2.5: Toprak tipi, derinlik ve arıtma derecesine bağlı olarak KOİ giderim performansı.....	13
Tablo 4.1: Döngü parametreleri ve deney süreleri	20
Tablo 4.2: Çalışmalarda kullanılan toprak özellikleri.....	21
Tablo 4.3: Denizli belediyesi merkezi atıksu arıtma tesisi projelendirme parametreleri.....	22
Tablo 5.1 :KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile pH değişimleri	25
Tablo 5.2: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile EC değişimleri	26
Tablo 5.3: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile sıcaklık değişimleri ...	27
Tablo 5.4: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile ÇO değişimleri ...	28
Tablo 5.5: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile TOK giderim verimliliğindeki değişiklikler.....	29
Tablo 5.6: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile TOK değişimleri	30
Tablo 5.7: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile KOİ giderim verimliliğindeki değişiklikler.	32
Tablo 5.8: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile KOİ değişimleri	34
Tablo 5.9: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam- N giderim verimliliğindeki değişiklikler.	36
Tablo 5.10: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam-N değişimleri	37
Tablo 5.11: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam- P giderim verimliliğindeki değişiklikler	40
Tablo 5.12: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam- P değişimleri	42

KISALTMALAR LİSTESİ

TAAS	: Toprak Akifer Arıtma Sistemi
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	: Toplam Organik Karbon
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
KTBT	: Killi Tın Bünyeli Toprak
TBT	: Tın Bünyeli Toprak

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşme sürecinde, değerli bilgilerini şahsımla paylaşan ve zamanını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mesut AK'a, laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan Arş. Gör. Yağmur Meltem AYDIN KIZILKAYA'ya çalışma boyunca tüm desteğini üzerimde hissettiren çok değerli aileme bu zamana kadar gelebilmemdeki en büyük desteğim dedem Habib ERMİŞ 'e ve yardımlarından dolayı Gürol GÖK ve Mustafa Selman ARSAY'a teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Su insanlar için olduğu kadar diğer tüm canlılar için de temel yaşam kaynağıdır. Dünyanın en yaygın bileşenlerinden biri olmasına rağmen, insan yaşamı için gerekli mevcut su sınırlıdır. Tarımsal, ticari ve evsel kullanımlar için suyun eksikliğinin ciddi problemler oluşturmasının yanında iyi kalitede içme ve kullanma suyuna olan ihtiyaç dünya çapında hızla artmaktadır. Su evsel, tarımsal, endüstriyel ve içme suyu olmak üzere dört temel amaç için kullanılmaktadır. Dünyadaki su miktarının %97 si okyanus ve denizlerdeki tuzlu su olarak bulunmaktadır. Kullanılabilir tatlı su kaynakları ise çoğunlukla göller, nehirler ve yeraltı sularıdır. Bu sular dünya genelinde düzensiz bir dağılım göstermektedir. Tablo 1.1’de suyun dünya çapındaki dağılımı verilmiştir (Aydın ve Ardalı 2012). 1 milyonun üzerinde insan temiz içme suyundan yoksun ve yaklaşık 2,3 milyon insan su kıtlığı olan bölgelerde yaşamaktadır (Başaran 2015). Yapılan incelemeler Orta Doğu ve Kuzey Afrika’nın en fazla su kıtlığının yaşandığı bölgeler olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu bölgelerde dünya nüfusunun yaklaşık %6,3’ü yaşarken yenilenebilir tatlı su kaynaklarının sadece %1,4’ü bu bölgededir. Orta Doğu’nun aksine Amerika yenilenebilir tatlı su kaynakları bakımından oldukça zengindir (Aydın ve Ardalı 2012).

Su problemi sadece dünya yüzeyinin %60’ından fazlasını kaplayan kurak bölgelerde eksiklik olarak değil, suyun bol bulunduğu bölgelerde de kalitesindeki problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, birçok ülkede su politikası önemli bir hale gelmiştir (Aydın ve Ardalı 2012).

Tablo 1.1: Dünya çapında su dağılımı.

Su Kaynakları	Su Dağılımı
Okyanuslar	%97,23
Buz dağlar ve buzullar	%2,14
Yer altı suyu	%0,61
Tatlı su gölleri	%0,01
Diğerleri	%0,1

Bu bağlamda su tüketiminin kontrolü, korunması, dağıtımı ve depolanmasının iyileştirilmesi artıma yöntemlerinin geliştirilmesi ve yeniden kullanılması gibi konuları kapsayan su probleminin çözümüne yönelik su politikaları geliştirilmiştir. Günümüzde su politikası kavramı sadece içme suyu yönetimi değil ayrıca atıksuyun arıtıldıktan sonra tekrar kullanımı da içermektedir.

Atıksu evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanım alanlarından kaynaklanan kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sulardır. Bu sular fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını yitirmişlerdir. Suyun kaybettiği bu özellikleri çevresel faktörler açısından değerlendirildiğinde en az zarar verecek bir duruma getirmek ya da bu özellikleri geri kazandırmak için yapılan işlemler dizisine atıksu arıtımı, bu işlemlerin yapıldığı tesislere de atıksu arıtma tesisleri adı verilmektedir.

Bu çözümler arasında atıksuların arıtılarak uygun alanlarda tekrar kullanılması gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Kentsel atıksu arıtma tesislerinde farklı seviyelerde arıtılan atıksular, kentsel ve tarımsal sulama, endüstriyel su temini ve yeraltı sularının suni beslenmesi gibi amaçlarla tekrar kullanılabilir. Biyolojik arıtımı içeren geleneksel ikincil arıtma yöntemleri, çözünmüş organik maddelerin giderilmesinde büyük oranda başarılı olsa da arıtma çıkış suyunda hala bir miktar organik madde ve önemli miktarda besin maddesi, askıda katı madde ve patojenler bulunabilmektedir. Bu nedenle ikincil arıtmadan çıkmış atıksuların yeniden kullanılmasına yönelik ileri arıtım yöntem ve teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok ileri arıtım yöntemlerine göre tasarım ve işletim maliyeti düşük, kimyasal gerektirmeyen ve uzun süreli etkinliği kanıtlanmış Toprak Akifer Arıtma Sistemleri (TAAS), kentsel arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasında gerçekçi ve uygulanabilir bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. TAAS ile hem yeraltı suyu beslenmekte hem de deşarj edilen suyun kalitesi iyileştirilmektedir. Temel prensibi arıtılmış atıksuların toprak ortamında doğal filtrasyonu olan TAAS, gerek organik maddelerin gerekse besin maddelerinin gideriminin de oldukça etkilidir.

TAAS özellikle ikincil arıtılmış atıksuların ileri arıtımında düşük işletme maliyeti, fazla personel gerektirmemesi, uygulamasının kolay olması gibi avantajları nedeniyle birçok ülkede yaygın olarak kullanılan, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tercih edilen alternatif bir doğal arıtma yöntemidir (Nema ve diğ. 2001).

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tezin amacı atıksuların arıtılmasında kullanılan ve doğal arıtma yöntemlerinden biri olan toprak akifer arıtma sistemlerinin farklı toprak tiplerindeki verimlerinin araştırılmasıdır. Birçok ileri arıtım yöntemlerine göre tasarım ve işletme maliyeti düşük, kimyasal gerektirmeyen ve uzun süreli etkinliği kanıtlanmış olan TAAS, hem yeraltı suyunu beslemekte hem de su kalitesini iyileştirmektedir. Bu tez kapsamında kullanılan toprak tipine bağlı olarak organik maddelerin ve besin maddelerinin (azot ve fosfor) giderim verimleri belirlenerek nedenlerinin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

1.2 Arıtma Sistemleri

Atıksuyun arıtılması için birçok arıtma yöntemi geliştirilmiştir. Bunları, Fiziksel Arıtma, Biyolojik Arıtma, Kimyasal Arıtma, İleri Arıtma olmak üzere dört ana başlıkta inceleyebiliriz.

1.2.1 Fiziksel Arıtma Sistemleri

Fiziksel arıtma atıksuda bulunan katı maddeler ile kum, yağ gres gibi ince partiküllü maddelerin birtakım ekipmanlar ya da yer çekimi yardımı ile ayrılması işlemidir. Bu maddeler uzaklaştırılmadığı takdirde arıtma tesisinde kullanılan pompalar, vanalar, borular gibi birçok ekipmana zarar vererek arıtma tesisinde problem çıkmasına neden olabilir.

1.2.2 Kimyasal Arıtma Sistemleri

Kimyasal arıtma yöntemi, suda çözülmüş halde bulunan kirletici maddelerin birtakım kimyasal reaksiyonlar sayesinde suda çözünmeyen bileşiklere dönüştürülmesi ya da kolloidal ve askıdaki maddelerin yumaklar oluşturarak çökeltilmesi suretiyle ortamdan uzaklaştırılmasıdır. En temel kimyasal arıtma metotları nötralizasyon, koagülasyon ve flokülasyondur.

1.2.3 Biyolojik Arıtma Sistemleri

Atıksuların genellikle %99'undan fazla bir kısmı sudur. Geri kalan kısmı kirletici maddelerden oluşmaktadır. Kirleticiler suda çözülmüş halde bulunabilecekleri gibi katı madde olarak da askıda bulunabilirler. Biyolojik arıtma atıksuyun içinde bulunan askıda veya çözülmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklarla sıvının içinde kalan ya da gaz olarak atmosfere karışan inorganik birleşiklere dönüşmesidir. Biyolojik arıtmanın esası organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri sırasında oluşturacakları kirliliğin engellenmesi için mineralizasyon proseslerinin kontrollü bir ortamda optimum şartlarda gerçekleştirilmesidir (Grady ve diğ. 1999).

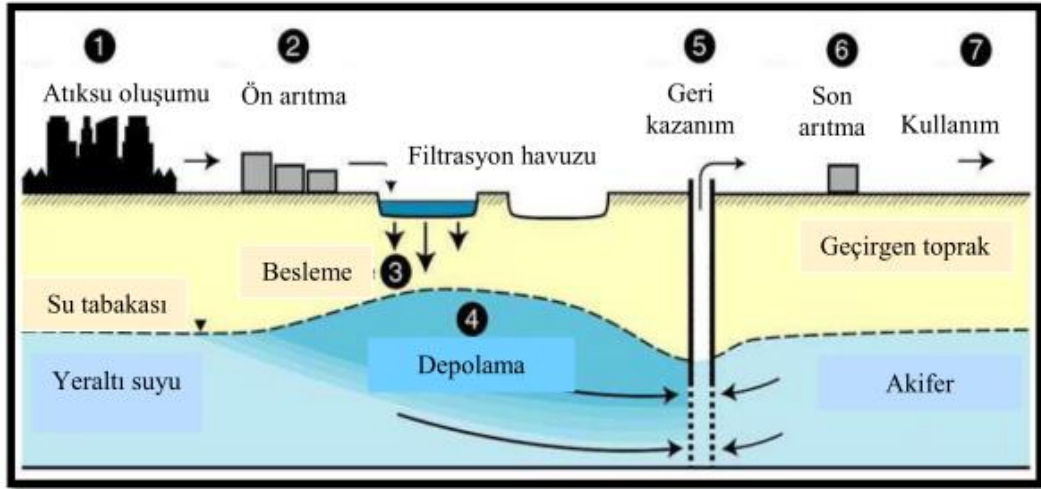
1.2.4 İleri Arıtma Sistemleri

Atıksuda bulunan bileşiklerin bilimsel olarak tespiti, bilgi ağlarına erişimin kolaylaşması ve çevresel kirlilikleri izleme çalışmaları, arıtılmış atıksuyun deşarj limitlerinin daha sıkı ve sınırlayıcı olmasına yol açmıştır. Birçok yerde deşarj limitleri ikincil arıtım sistemlerinde arıtılmayan bazı öncelikli kirleticilerin ileri seviyede arıtımını gerektirebilir. Dünyada kullanma suyunun sınırlı olduğu yerlerde arıtılmış atıksuyun tekrar kullanımını giderek önem kazanmaktadır.

Klasik arıtma sistemleri çıkışında arıtılmış atıksuda kalan askıda katı maddeler (AKM), çözülmüş maddeler, organik maddeler ve besin maddeleri gibi kirleticilerin daha verimli bir şekilde arıtımını ilave arıtma sistemlerini gerektirmekte olup bu sistemlere ileri arıtma sistemleri denilmektedir. Bu kirleticiler organik maddeler, askıda katı maddeler, inorganik maddeler (Ca, K, SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , NO_3^- vb.) ya da kompleks sentetik organik bileşikler olabilmektedir. Özellikle son 20 yılda birçok ileri arıtma teknolojisi geliştirilmiş ve uygulamaya sokulmuştur.

2. TOPRAK AKİFER ARITMA SİSTEMİ

Artan nüfus ve yaşam standartlarına bağlı olarak temiz su kaynaklarına olan ihtiyacın gün geçtikçe artması ve özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki kullanılabilir su miktarındaki azalma arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasının önemini arttırmıştır. Kentsel atıksu arıtma tesislerinde farklı seviyelerde arıtılan atıksular, kentsel ve tarımsal sulama, endüstriyel su temini ve yeraltı sularının suni beslenmesi gibi amaçlarla tekrar kullanılabilir. Birçok ileri arıtım yöntemlerine göre işletim maliyeti düşük, kimyasal gerektirmeyen ve uzun süreli etkinliği kanıtlanmış TAAS, kentsel arıtılmış atıksuların yeniden kullanılmasında uygulanabilir bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. TAAS ile hem yeraltı suyu beslenmekte hem de su kalitesi iyileştirilmektedir. Şekil 2.1’de şematik olarak bir TAAS kesiti verilmiştir (Miotlinski ve diğ. 2010).



Şekil 2.1: TAAS kesit görünümü

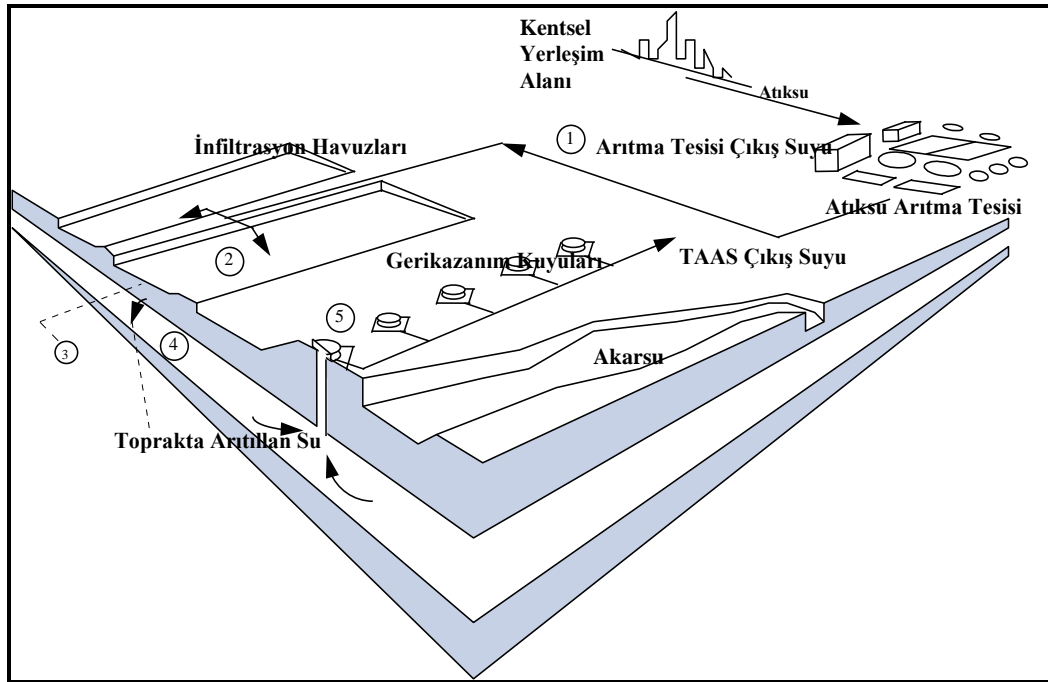
TAAS özellikle ikincil arıtılmış atıksuların ileri arıtımında düşük işletme maliyeti, fazla personel gerektirmemesi, uygulamasının kolay olması gibi avantajları nedeniyle dünyada tercih edilen alternatif bir doğal arıtma yöntemidir (Nema ve diğ. 2001).

Temel prensibi arıtılmış atıksuların toprak ortamından filtrasyonu olan TAAS, gerek organik maddelerin gerekse besin maddelerinin gideriminin de oldukça etkilidir. Ayrıca TAAS ile suyun akiferler de mevsimsel olarak depolanması,

iyileştirilen suyun kuyular aracılığıyla geri kazanılarak ihtiyaç durumunda kullanımı mümkündür (Nema ve diğ. 2001; Aksoy ve Ünlü 2005).

TAAS beş ana bileşenden oluşmaktadır. Şekil 2.2’ de belirtildiği gibi bunlar; atıksu arıtma tesisinden gelen çıkış suyu isale hattı, kısmen arıtılmış suyun toprağa sızdırıldığı infiltrasyon havuzları, infiltrasyon havuzlarının hemen altında bulunan arıtımın ağırlıklı olarak sağlandığı toprak tabakası, suyun mevsimsel olarak depolandığı ve arıtımın kısmen devam ettiği akifer ve depolanan suyun geri kullanımını sağlayan geri kazanım kuyularıdır (Aksoy ve Ünlü 2005).

TAAS’nin işletilmesi sırasında filtrasyon havuzu dibine atıksu içerisindeki maddelerin çökmesi ve alglerin oluşması sonucu zaman içerisinde suyun infiltrasyonun da azalma olabilmektedir. Bunun engellenmesi için infiltrasyon havuzlarının belirli aralıklarla temizlenmesi gerekmektedir (EPA 2003).



Şekil 2.2: TAAS bileşenleri

2.1 TAAS Giderim Mekanizmaları ve Kirleticiler

Toprak akifer arıtma sisteminde filtrasyon, adsorpsiyon, iyon değişimi, çökeltme ve mikrobiyal parçalanma en etkili arıtma mekanizmalarıdır (Amy ve

Drewes. 2007; Essandoh ve diğ. 2011; Quanrud ve diğ. 1996; Viswanathan ve diğ. 1999; Yun-zheng ve Jian-long. 2006).

Bazı mekanizmaların TAAS sisteminde uzun vadede giderim performansları Tablo 2.1’de verilmiştir (Viswanathan ve diğ. 1999).

Biyolojik olarak parçalanamayan organik maddeler, askıda katı maddeler, iz elementler ve fosfor fiziksel ve kimyasal mekanizmalar tarafından belirli kapasitede uzaklaştırılır. Ağır metal ve fosforun giderilmesinde kimyasal çöktürme ve adsorpsiyon mekanizmaları esas olarak etkilidir (Cha ve diğ. 2006; Fox ve diğ. 2005; Idelovitch 2003; Lee ve diğ. 2004; Lin ve diğ. 2004; Reemtsma ve diğ. 2000; Viswanathan ve diğ. 1999).

Tablo 2.1: TAAS için etkili kirlilik giderme mekanizmalarının uzun dönem performansları

Parametre	Giderim Mekanizması	Giderim Süresi
Askıda maddeler	Filtrasyon	Sınırlı, uzun süreli
Çözünmüş organikler	Biyolojik Parçalanma Adsorpsiyon	Sonsuz Sınırlı
Azot	Filtrasyon Nitrifikasyon Denitrifikasyon Adsorpsiyon	Sınırlı, uzun süreli Sınırsız Sınırsız Sınırlı
Fosfor	Kimyasal Çökme Adsorpsiyon	Sınırlı, uzun süreli Sınırlı, uzun süreli

Çözünmüş organik karbon (ÇOK) giderimi için toprak akifer arıtma sisteminde baskın mekanizmanın biyolojik parçalanma olduğu düşünülmektedir. Xue ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada başlangıçtaki çözünmüş organik karbon konsantrasyonunun yaklaşık %3'lük kısmının adsorpsiyon ile giderildiğini fakat çözünmüş organik karbonun gideriminde biyolojik parçalanmanın temel mekanizma olduğu sonucuna varmışlardır.

Ayrıca, uzun yıllardır çalışmakta olan gerçek ölçekli bazı toprak akifer arıtma sistemlerinden elde edilen sonuçlar, toprak yapısında herhangi bir organik karbon birikiminin gerçekleşmediğini ortaya koymuştur. Bu durum organik madde giderimi için ana mekanizmanın biyolojik parçalanma olduğunu ispatlar niteliktedir (Fox ve diğ. 2005; Drewes ve Jekel 1998; Quanrud ve diğ. 2003; Wilson ve diğ. 1995).

Toprak akifer arıtma sisteminde azot ve türevleri ise filtrasyon, adsorpsiyon ve nitrifikasyon/denitrifikasyon mekanizmaları ile giderilmektedir. Toprakta filtrasyon esnasında amonyumun çoğu nitrifikasyon nedeniyle nitratla oksitlenir. Toprak ortamında veya yeraltı suyunda anoksik koşullar meydana gelmesi durumunda, denitrifikasyon sonucu nitrat son aşamada azot gazına dönüşür. Oksijen organik bileşiklerin miktarına bağlı olarak toprak kolonunun en üst tabakasında bol miktarda bulunmakta ve mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin parçalanması esnasında tüketilmektedir. Bu nedenle toprak kolonunun alt tabakalarında ve doymuş tabaka içerisinde anoksik şartların oluşması ve denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesi mümkündür (Gungor ve Unlu. 2005; Yun-zheng ve Jian-long. 2006).

TAAS tipik olarak nitrifikasyon/denitrifikasyon işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için uygun koşullar yaratmak amacıyla alternatif ıslak ve kuru döngülerde çalıştırılır. Islak döngü süresi boyunca (doymuş koşullar), toprak yüzeyi ve katmanları askıda katı madde birikmesi ve bakteri üremesi nedeniyle tıkanır. Bu tıkanma atıksuyun sızmasını ve atmosferden oksijenin toprak içerisine geçişini engeller. Islak döngünün bitmesi ile toprağın atıksu ile beslenmesi sona erer ve TAAS sisteminin kurumasına izin verilir. Kuruma süresi boyunca (doymamış koşullar), TAAS sisteminde toprak gözenekleri açılacağı için toprak tekrar filtrasyon kapasitesi kazanır ve toprak ortamında tekrar oksijen miktarı artar, böylece bir döngü içerisinde sistem çalışmaya devam eder (Idelovitch ve diğ. 2003; Quanrud ve diğ. 1996; Westerhoff ve Pinney. 2000).

2.2 TAAS Veriminde Etkili Olan Parametreler

TAAS performans ölçütlerini kontrol eden en önemli faktörler; kullanılan toprak tipi, ıslak/ kuru döngü süreleri, atıksuya uygulanan ön arıtım derecesi, hidrolik alıkonma süresi, derinlik ve atıksu kalitesidir (Aksoy ve Ünlü 2005).

2.2.1 Ön Arıtım Derecesi

TAAS'ın verimliliği açısından akiferin porozitesi (gözeneklilik) çok önemlidir. Ön arıtmadan işlemi görmeyen atıksu toprak taneleri arasındaki boşluğu tıkayarak akiferin porozitesini düşürür. Akiferin porozitesinin düşmesi filtrasyon mekanizmasının verimini düşürmektedir. Bu nedenle ön arıtma işlemi toprak filtrasyonu açısından önemli bir parametredir. Yapılan atıksu arıtma kademelerine baktığımızda çıkış suları alınan örneklerde çözünmüş organik karbon giderim miktarı %10-94 arasında bulunmuş olup bu veriler ikincil arıtmadaki giderim veriminin daha yüksek olduğunu göstermektedir (Sharma ve diğ. 2008). Dolayısıyla ikincil arıtma sonrası kullanılan atıksu TAAS için idealdir. Sharma ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada çeşitli düzeylerde arıtılmış farklı atıksu kaynaklarını kullanarak ön arıtmanın etkisini araştırmışlardır. Birincil, ikincil ve üçüncül arıtılmış atıksular ile yapılan TAAS çalışmaları sonucunda maksimum çözünmüş organik karbon giderim verimlerinin sırasıyla %62, %94 ve %80 olduğu görülmüştür. TAAS sisteminde elde edilen ve farklı seviyelerde arıtılmış atıksulardaki ÇOK giderim verimleri Tablo 2.2'de verilmiştir (Sharma ve diğ. 2008).

Tablo 2.2: Farklı kademelerde arıtılmış atıksular için TASS 'deki ÇOK giderim verimleri

Atıksu Arıtma Kademeleri	Kolona Giriş ÇOK (mg/L)	Kolondan Çıkış ÇOK (mg/L)	ÇOK Giderim Verimi (%)
Birincil	9-35	7-21	12-62
İkincil	2-24	1.5-16	10-94
Üçüncül	5-20	2-14	19-80

Bu sonuçlar doğrultusunda ÇOK gideriminde ikincil arıtılmış atıksuyun daha yüksek verim sağladığı görülmektedir. Ayrıca, üçüncül arıtılmış atıksuyun TAAS'nde kullanılması verimi fazla etkilemeyecek maliyeti arttıracak için uygun değildir. Birincil arıtılmış atıksu uygulamasına bakıldığında ise aşırı besin maddelerinin ve organik kirleticilerin alg üremesine ve biyolojik kütle artmasına neden olduğu ve buna bağlı olarak da toprak boşluklarının tıkanarak filtrasyonun hızlı bir şekilde azaldığı saptanmıştır. Sonuç olarak, ikincil arıtılmış atıksuyun TAAS'nde kullanım için en uygun ön arıtılmış atıksu olduğu açıkça görülmüştür.

2.2.2 Islak/Kuru Döngüsü

Diğer önemli parametre de ıslak/kuru döngüleridir. Islak döngü dediğimiz aşama kolonların atıksu ile beslendiği kısımdır. Kuru döngü dediğimiz aşama ise besleme işleminin durdurulduğu toprağın gözeneklerinin oksijenle dolduğu ve filtrasyonu veriminin arttığı kısımdır. Islak döngüde organik maddelerin parçalanması ve nitrifikasyon/denitrifikasyon gibi biyolojik, askıda katı maddelerin çökmesi, adsorpsiyon, filtrasyon gibi fiziko-kimyasal süreçler gerçekleşmektedir. TAAS azot giderimi için nitrifikasyon/denitrifikasyon sürecini tamamlamak ve toprağın filtrasyon hızındaki azalmayı önlemek amacıyla ıslak ve kuru döngüler halinde işletilmektedir. Ancak ıslak döngünün uzun tutulması halinde toprak suya doymakla birlikte oksijen zamanla azalmakta toprak filtrasyonunda azalma meydana gelmektedir, buna karşın denitrifikasyon sürecinin başlayabilmesi için gerekli anoksik şartlar oluşabilmektedir. Kuru döngüde ise toprak boşluklarının tekrar oksijen alması ve kuruyan toprağın filtrasyon kapasitesini tekrar kazanması amaçlanmaktadır (Idelovitch ve diğ. 2003). Bu iki döngünün oranının belirlenmesi TASS verimi için önemlidir. Tipik olarak kuru döngü süresi en azından ıslak döngü süresine eşit veya daha uzun olmalıdır. Soğuğa bağlı olarak su viskozitesinin artması ve mikrobiyal aktivitenin azalması nedeniyle, TAAS'inde sızma oranı genellikle kış aylarında azalır. Böyle bir durumda ıslak döngü kısaltılabilir ya da kuru döngü uzatılabilir (EPA. 2003; Nadav ve diğ. 2012; Quanrud ve diğ. 1996).

Daha uzun ıslak döngü sürelerinin kullanılması durumunda denitrifikasyon sürecinin başlama ihtimali daha yüksektir. Lance ve Whisler (1972) farklı ıslak döngü günlerinde çalıştırdıkları TAAS'de amonyak ve organik azotun nitrata yükselttiğini fakat denitrifikasyon şartlarının oluşmadığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada daha uzun ıslak döngülerin denitrifikasyon işleminin başlamasına neden olduğu ve sonunda N₂ gazının açığa çıktığı ortaya konulmuştur. Tablo 2.3'te Lance ve Whisler (1972)'in toprak kolonunda kuru döngüyü 5 günde sabit tutularak farklı ıslak döngüler için ikincil arıtılmış atıksuda azot giderimini incelediği sonuçlar verilmiştir.

Bu tabloda görüldüğü gibi, daha uzun ıslak döngüler nitrifikasyon/denitrifikasyon prosesinin gerçekleşmesini sağlamakta bu da daha etkili azot giderimine imkan vermektedir.

Tablo 2.3: 5 günlük sabit kuru döngüde farklı ıslak döngüler için ikincil arıtılmış atıksuda azot giderimi

Islak Döngü (gün)	Kolona Giren N (mg)	Kolondan Çıkan N (mg)	N Giderim Verimi (%)
2	1,641.5	1,714.8	-4
9	4,298.1	3,108.9	28
16	6,811.2	4,547.3	33.2
23	9.893.4	6,685.7	33.9

2.2.3 Toprak Tipi

Toprak tipi TAAS verimini etkileyen bir diğer faktördür. Uygun toprak yüksek filtrasyonu oranını sağlayacak kadar kalın parçacıklı, kirlilikleri filtre edebilecek kadar da ince parçacıklı olmalıdır. Sharma ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmalarda ikincil arıtılmış atıksu kullanarak TAAS sırasında toprak türlerinin çözülmüş organik karbon giderimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar Tablo 2.4’te verilmiştir (Sharma ve diğ. 2008).

Tablo 2.4: İkincil arıtılmış atıksu kullanılan TAAS’de toprak tiplerinin ÇOK giderimi üzerindeki etkisi

Toprak Tipi	Giriş ÇOK (mg/L)	Alıkonma Mesafesi (m)	Alıkonma Süresi (gün)	Giderim Verimleri (%)
Kumlu Tınlı Toprak	14	0.82	7	59-73
	11	1	1	54
	15	2.5	3	53
Düşük Oranlı Kum	4-12	1	1-2	26-48
Siltli Kumlu	12	1	3	44
Silika Kumu	4-8	0.3	1	33-46
	8	1	1	29
	11-14	5	2-4	15-30
Düşük Oranlı Siltli Kum	13	1-2	2-4	56

Bu çalışma kumlu tınlı toprağın diğer toprak tiplerine göre ÇOK gideriminde daha etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada ayrıca alıkonma süresi arttıkça ÇOK gideriminin de arttığı gözlenmiştir, bunun nedeni de organik maddelerin mikroorganizmalar tarafında parçalanması için daha uzun sürenin sağlanmış olmasıdır (Esser, 1999; Quanrud ve diğ. 1996; Sharma ve diğ. 2008).

2.2.4 Hidrolik Alıkonma Süresi ve Derinlik

Hidrolik alıkonma süresi toprak derinli arttıkça artmaktadır. Bu da gerek mikrobiyolojik gerekse de fiziko-kimyasal giderim mekanizmalarının verimini arttırmaktadır. Hidrolik alıkonma süresinin artması ile mikrobiyal faaliyetler için daha uzun bir süre temin edilirken derinliğin artması ile denitrifikasyon için gerekli anoksik şartların sağlanma ihtimali de artmaktadır. Ayrıca daha fazla toprak hacmine maruz kalan atıksu iyon değiştirme, filtrasyon, adsorpsiyon gibi fiziko-kimyasal prosesler ile kalite parametrelerinde daha fazla iyileşme görülmektedir.

Nagarajappa ve diğ. (2010) yılındaki çalışmalarında TAAS'nin diğer arıtma yöntemleri ile birlikte kullanılan bir teknoloji olduğunu belirtmiştir. Mevcut atıksu arıtma teknolojileri ile kabul edilebilir kalitede atıksu üretebilmektedir. TAAS teknolojisi yeraltı su kaynaklarının çok fazla kullanıldığı kurak ve yarı kurak bölgelerde uygulandığı takdirde su kaynaklarını beslemektedir. TAAS'ın entegre su kaynakları yönetimi kapsamında hem yüzey suyunun hem de yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlayan gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi atıksu ıslahı için düşük maliyetli ve uygun bir seçenek olduğunu söylemişlerdir. Bu çalışmada, siltli kum ve killi kum üzerinde arıtma performanslarına göre seçilmiş 3 farklı atıksu ile birlikte deneysel çalışmalar yapılmıştır. Üç tanesi 6 inç çapında 1,5 m uzunluğunda diğer üçü 6 inç çapında 1,2 m uzunluğunda olmak üzere toplam 6 adet PVC malzemeli kolon hazırlamışlardır. Toprağın borudan akmaması için 60 mikronluk delik boyutuna sahip ızgara kolonlara yerleştirilmiştir. Tablo 2.5'te verilen kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim performansına göre, siltli kumun killi kuma göre daha iyi arıtma performansı gösterdiğini, arıtma performansı ile toprak derinliğı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 2.5: Toprak tipi, derinlik ve arıtma derecesine bağlı olarak KOİ giderim performansı

KOİ Giderim Performansı (%)				
	Killi Kumlu		Siltli Kumlu	
	0,7 m	1 m	0,7 m	1 m
Örnekleme Derinliği				
Düşük Seviyede Arıtılmış Su	62,25	64,80	65,17	68,00
Orta Seviyede Arıtılmış Su	71,64	74,18	73,72	75,62
Yüksek Seviyede Arıtılmış Su	72,20	74,40	74,80	76,64
Ortalama	68,70	71,13	71,23	73,42

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Martins ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada, TAAS'nin gün geçtikçe daha ucuz ve tamamlayıcı bir su kalitesi iyileştirme yöntemi olarak görüldüğünü belirtmiştir. Bir dizi toprak kolonu ile yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda kullanılan toprak içinden geçen sudaki kirleticilerin azaldığını göstermişlerdir.

Betancourt ve diğ. (2019) hali hazırda doğal olarak atıksular içinde yaşayan birtakım virüslerin TAAS ile giderilmesini göstermek için 4,4 m'lik 95% kum, 4% silt ve 1% kil içeren bir toprak kolon oluşturmuşlardır. Bu kolonda dezenfekte edilmemiş ikincil arıtmadan geçirilmiş atıksuyu 15 günlük bir hidrolik alıkonma süresinde bekletmişlerdir. Periyodik olarak kolon üzerinde farklı derinliklerde yer alan vanalardan aldıkları atıksu örneklerinin analizleri sonucunda virüslerin zaman içinde toprak tarafından filtre edildiğini belirtmişlerdir.

Shuang ve diğ. (2009) çalışmalarında TAAS sırasında çözülmüş organik maddenin (ÇOM) değişimini araştırmak ve TAAS sırasında ÇOM'nin yapısal ve işlevsel özelliklerindeki değişikliklerden sorumlu mekanizmaları ortaya koymak için toprak kolonu deneyleri yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda ÇOM'nin biyolojik parçalanması sonucu %70 oranında giderildiğini göstermişlerdir.

Essandoh ve diğ. (2013) yılındaki çalışmalarında, doymuş ve doymamış toprak koşullarında silika kumu içeren 1 m'lik toprak kolonlar kurarak doymamış bölge boyunca gerçekleşen hidrolik hareket uzunluğunun atıksudaki organik maddenin giderilmesi üzerindeki etkisini, toprak tipinin çözülmüş organik karbon giderimi üzerindeki etkisini ve ayrıca bu giderim işlemine katılan mikroorganizmaların tipini anlamaya çalışmışlardır. Atıksuyun doymamış bölge boyunca ne kadar uzun mesafe kat ederse çözülmüş organik karbon gideriminin ve nitrifikasyonun o kadar arttığını tespit etmişlerdir. Hem doymuş hem de doymamış kolonlarda benzer mikroorganizma toplulukları bulunmuştur. Bununla birlikte mikrobiyal konsantrasyonlar, silika kumuna ek olarak silt ve kil içeren toprak kolonunda en düşük olduğunu, silt ve kilin varlığının doymuş toprak koşulları altında

toprak kolonunun hidrolik performansı ve mikrobiyal büyüme üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle ÇOK giderim verimliliğine zarar verdiğini tespit etmişlerdir.

Quanrud ve diğ. (1996) yaptıkları çalışmada ikincil arıtılmış atıksuda ÇOM değişimini farklı kolonlarda farklı toprak tipleri kullanarak araştırmışlardır. Toprak kolonları homojenize bir şekilde siltli kum, kum ve kumlu kil ile doldurulmuştur. Çalışma sonucunda ÇOM'nin siltli kum kullanılan toprakta %44, kum kullanılan toprakta %48 ve kumlu kil kullanılan toprakta ise %56 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir.

Ak ve Gündüz (2012) çalışmalarında laboratuvar ölçekli bir toprak akifer arıtma sisteminin performansını araştırmıştır. Sentetik atıksu ve ikincil arıtılmış atıksudan organik maddenin giderimini araştırmak için çalışma yapmışlardır. SAT sistemi laboratuvar koşullarında test etmek için siltli toprak numuneleriyle doldurulmuş toprak kolonları kullanılmıştır. Her bir kolon su örneklerini toplayabilmek için yukarıdan aşağıya doğru birden fazla derinlikte (10, 20, 30, 50 ve 75 cm) vana ile donatılmıştır. Atıksu arıtımı sırasında farklı ıslak ve kuru döngü sürelerinin etkilerini gözlemleyebilmek için hem sentetik atıksu hem de gerçek atıksu sırasıyla 55 ve 25 hafta sürecek şekilde 3 gün ıslak/4gün kuru ve 7 gün ıslak/7gün kuru olmak üzere iki farklı ıslak/kuru döngüsünde çalıştırılmıştır. Çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve toplam organik karbon (TOK) konsantrasyonları tüm örneklerde ölçülmüştür. Ortalama giderim verimleri sentetik atıksu için %61,4 (KOİ) ve %68,2 (TOK), ikincil arıtmadan çıkan atıksuda ise %58,3 (KOİ) ve %51,1 (TOK) olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar sentetik atıksu kullanılan kolonların performansının ikincil arıtmadan çıkan atıksu kullanılan kolonların performansından daha iyi olduğunu göstermiştir. Çalışmada bunu nedeninin gerçek atıksu içerisindeki kompleks organik maddelerin gideriminin daha zor olduğu ve daha uzun alıkonma sürelerine ihtiyaç duyulduğu şeklinde yorumlanmıştır. Farklı ıslak/kuru döngülerin organik madde giderim performansına etkisi ise ikincil arıtılmış atıksuda daha uzun ıslak ve daha uzun kuru sürelerinin daha iyi giderim verimi sağladığı, sentetik atıksu da ise bunun tam tersinin görüldüğü belirtilmiştir.

Ak ve Gündüz (2013) bir diğer çalışmalarında sentetik olarak hazırlanmış atıksu ve Çiğli (İzmir) kentsel atıksu arıtma tesisi ikincil arıtılmış çıkış suyunu kullanarak besin maddelerinin (azot ve fosfor) TAAS ile giderim verimini

araştırmışlardır. Bu amaçla siltli toprak ile doldurulmuş çoklu toprak kolonları kullanılmış, gerçek atıksu ile 25 hafta çalıştırılan kolonlara 3 gün ıslak/4gün kuru ve 7 gün ıslak/7gün kuru olmak üzere iki farklı ıslak/kuru döngüsü uygulanmıştır. Kolonlardaki farklı örnekleme portlarından toplanan numunelerde çözünmüş oksijen, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, amonyum azotu, nitrit azotu, nitrat azotu, toplam azot ve fosfat-fosforu değerlerini ölçülmüşlerdir. Amonyum azotu, toplam azot ve fosfat fosforu için 25 haftalık çalışma süresinde 75 cm efektif toprak derinliğinde ortalama %62,8, 67,1 ve %97,1 arıtım değerleri elde etmişlerdir. Besin maddelerinin arıtım performansı tipik olarak toprak derinliği ile artmıştır ve çalışma sonuna doğru arıtma performansında herhangi bir düşüş gözlenmemiştir. Sonuç olarak, TAAS'nin ikincil arıtılmış atıksularda besin maddelerin arıtılmasında etkili ve düşük maliyetli bir doğal arıtma yöntemi olarak düşünülebileceğini belirtmişlerdir.

Güngör ve Ünlü (2005) yılındaki çalışmalarında laboratuvarında toprak akifer arıtma sistemini temsil edecek kolonlar kurarak nitrit ve nitratın giderim verimlerini değerlendirmişlerdir. Her bir kolunu üç farklı toprak tipi (kumlu killi, tınlı kum ve kumlu tınlı) kullanarak doldurmuşlardır. Tüm toprak kolonları 7 ıslak/7 kuru ve 3 ıslak/4 kuru olmak üzere iki farklı ıslak/kuru döngüde işletilmiştir. Deneylemin sonucunda, toprak akifer arıtma sisteminde azot giderimi için infiltrasyon hızının ve ıslak döngü süresinin uzunluğunun önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. 7 ıslak/7 kuru gün olarak işletilen kolonların denitrifikasyon performansının 3 ıslak/4 kuru gün döngüsünden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, tınlı kum ile çalışan kolonun 7 ıslak/7 kuru gün çalışma süresi kullanılarak en iyi azot giderme performansını (%95) verdiği belirtilmiştir.

Zhang ve diğ. (2007) çalışmalarında restoran atıksuyu, tuvalet atıksuyu ve benzin istasyonlarından gelen atıksuların içerisindeki organik maddelerin sığ toprak infiltrasyon arıtımı (SSIT) kullanılarak giderimini incelemişlerdir. Bu çalışma eş zamanlı olarak 30 cm derinlikte gerçek bir alan ve laboratuvar ölçekli SSIT sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek ve laboratuvar ölçekli sistemde biyolojik ve biyolojik olmayan etkilerin anlaşılabilmesi için toprak kolonu deneyleri yapılmıştır. 10 aylık deney süresinden sonra gerçek alanda (Shanghai, China) ve laboratuvar ölçekli SSIT sisteminde KOİ giderim veriminin sırasıyla %75,8 ve %94,0 olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar, laboratuvar ölçekli SSIT sisteminde oda sıcaklığında

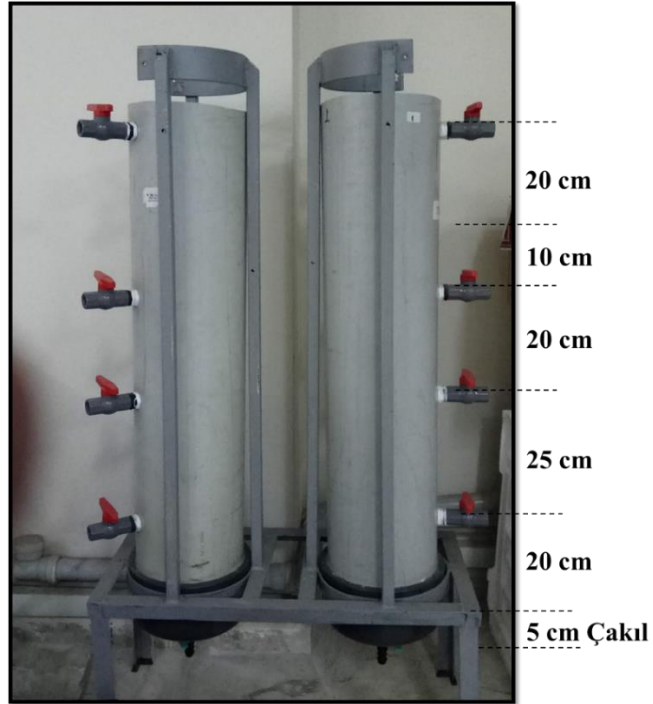
daha fazla organiğın giderildiğini açıkça göstermekte olup, ayrıca SSIT sistemindeki organik kirleticilerin giderim verimini etkileyen en önemli parametrelerin sıcaklık ve hidrolik yükleme oranının olduğu bulunmuştur.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Toprak Kolon Sisteminin Tasarımı

Laboratuvar koşullarında iki kolondan oluşan bir TAAS düzeneği dizayn edilmiştir. Kolonlar her biri 100 cm uzunluğunda ve iç çapı 20 cm olan PVC malzemeden yapılmıştır. Kolonları arıtılmış atıksu ile beslemek amacı ile bir adet peristaltik pompa ve atıksuyun karakterizasyonunun bozulmasını engellemek için bir adet mini buzdolabı laboratuvara kolon düzeneği ile birlikte yerleştirilmiştir.

Toprak kolonlarının beslenmesi haftalık olarak alınan ve besleme süresince bozulmasını önlemek amacı ile buzdolabına konulan ikincil arıtılmış atıksuyun bir peristaltik pompa ile çekilerek her iki kolona da eşit su dağıtacak şekilde dizayn edilen bir distribütör boru vasıtası ile yapılmıştır. Kolonların boyutlarını da gösteren deney düzeneğine ait fotoğraf Şekil 4.1'de, kolonlara ait şekil ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Toprak kolonları

herhangi bir kimyasal ve biyolojik bozulmaya uğramaması için gerekli önlemler alınmış ve analizler hızlı bir şekilde yapılmıştır.

4.1.1 Toprak Kolonlarının Çalıştırılması

TAAS daha önce belirtildiği gibi toprağın filtrasyon hızındaki azalmayı önlemek amacı ile ıslak ve kuru döngüler halinde işletilmiştir. Bu çalışmada da toprak kolonları iki farklı toprak tipi ile doldurulmuş bu iki toprak tipinin arıtma performansı açısından değerlendirilebilmesi için literatür de en çok kullanılan 3 gün ıslak/4 gün kuru (3ı/4k) döngüsü uygulanmış ve numuneler ıslak döngünün son günü alınmıştır. 02.10.2019 tarihinde başlayan ve 10 hafta devam eden deneysel çalışmalar killi tın bünyeli toprak (KTBT) ve tın bünyeli toprak (TBT) ile doldurulmuş iki kolonda sürdürülmüştür (Tablo 4.1). 10 haftalık çalışma periyodu öncesi stabil şartların sağlanması ve analiz sonuçlarına etki edebilecek toprak bünyesindeki organik ve inorganik unsurların giderilmesi amacı ile kolonlar iki hafta ikincil arıtılmış atıksu ile çalıştırılmış, bu süreçte numune alınmamıştır.

Tablo 4.1: Döngü parametreleri ve deney süreleri

Toprak Tipi ve Kolonlar	Döngü	Çalışma Süresi
Killi Tın Bünyeli Toprak (KTBT)	3 gün ıslak/4 gün kuru	10 hafta
Tın Bünyeli Toprak (TBT)	3 gün ıslak/4 gün kuru	10 hafta

4.2 Toprak Örnekleri ve Özellikleri

İki kolonda kullanılmak üzere kil oranları farklı iki toprak tipi Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nden alınmış, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi laboratuvarlarında analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.2' de verilmiştir.

Laboratuvar çalışmaları öncesi kolonlarda kullanılan toprak örnekleri önce kurutulmuş sonra toprağın özelliklerini etkilememek için bir taş parçası ile 2mm elekten geçecek şekilde ufak parçalara ayrılmıştır. Böylece 2 mm elekten elenmiş homojen toprak örnekleri deneysel çalışmalar için kolonlara doldurulmuştur.

Tablo 4.2: Çalışmalarda kullanılan toprak özellikleri

Parametre	Killi Tın Bünyeli Toprak	Tın Bünyeli Toprak
Derinlik (cm)	0-7	0-25
Kum (%)	26	48,19
Silt (%)	37	34,29
Kil (%)	37	17,52
pH	7,42	8,39
Tuz (%)	0,15	0,010
Kireç (%)	1,44	6,89
K	844 (ppm)	0,46 (me/100g)
Ca	3470 (ppm)	16,93 (me/100g)
Mg	1090,2 (ppm)	2,49 (me/100g)
Na	669 (ppm)	0,07 (me/100g)
Fe	110,74 (ppm)	4,58 (mg/kg)
Zn	9,08 (ppm)	2,21 (mg/kg)
Cu	4,43 (ppm)	2,20 (mg/kg)
Mn	14,6 (ppm)	11,78 (mg/kg)
B	2,38 (ppm)	1,04 (mg/kg)
Katyon değişim kapasitesi (KDK) (me/100g)	19,55	11,78

4.3 İkincil Arıtılmış Atıksu Örnekleri

Yapılan deneysel çalışmalarda Denizli Belediyesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilen ikincil arıtılmış atıksu kullanılmıştır. Atıksu çıkışında dezenfeksiyon işlemi yapılmamaktadır. Yapılan resmi yazışmalar sonucunda arıtılmış atıksu numunelerinin temini için gerekli izinler alınmıştır. Denizli Belediyesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi, Denizli ilinin evsel atıksuyu ile birlikte ön arıtım işleminden geçmiş sanayi atıksularını arıtmaktadır. Tesis 1. kademe 380000 kişinin 1690 L/s'lik debideki evsel atıksuyunu arıtmaktadır. Tesise gelen atıksu debisi kuru havalarda ortalama 90000 m³ civarındadır. Atıksu Arıtma Tesisinin projelendirmeye esas olan parametreler aşağıda Tablo 4.3'te verilmiştir (www.deski.gov.tr. 2019).

Tablo 4.3: Denizli belediyesi merkezi atıksu arıtma tesisi projelendirme parametreleri

Parametre	Dizayn Değerleri
Ortalama debi	115.152 m ³ /gün
Eşdeğer Nüfus	378.353 kişi
BOİ ₅	240 mg/L
AKM	526 mg/L
P	7,33 mg/L
N	46 mg/L

4.4 Deneysel Çalışmalar ve Analitik Yöntemler

Parametrelerin ölçümleri girişten ve her iki kolonda bulunan farklı derinliklerdeki numune alma portlarından 3ı/4k gün döngünün sonunda olmak üzere ağız kapaklı 500 ml'lik plastik şişelere alınan örneklerde mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde yapılmış, bazı parametrelerin analizi için herhangi bir hava girişini önlemek açısından ağızları sıkıca kapatılan numuneler +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır.

Deneysel çalışmalar sırasında aşağıdaki parametreler ölçülmüştür.

- Kimyasal Oksijen İhtiyacı,
- Toplam Organik Karbon
- Toplam Azot,
- Toplam Fosfor,
- Sıcaklık,
- pH,
- Elektriksel İletkenlik ve
- Çözülmüş Oksijen parametreleri ölçülmüştür.

Toplam Organik Karbon analizi hariç diğer analizler Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. TOK ölçümleri ise Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (İLTAM) yaptırılmıştır. KOİ, Toplam Azot ve Fosfat ölçümlerinde sırasıyla 114540, 100613

ve 114543 kodlu Merck marka hazır analiz kitleri kullanılmıştır. Kit ölçümleri WTW CR 3200 termoreaktör ve WTW Series Photolab S12 markalı spektrofotometre kullanılarak tamamlanmıştır. pH ve sıcaklık ölçümleri WTW Series 720, çözülmüş oksijen (ÇO) WTW Series 730 cihazları kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalardaki tüm analizler iki ya da üç tekrarlı olarak ölçülmüştür.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmalar sırasında deney kolonlarındaki bazı portların tıkanmasından dolayı bazı haftalarda numune alımı gerçekleştirilememiştir.

5.1 Kolonların Hidrolik Özelliği

Çalışma süresince kolonlardaki infiltrasyon oranları düzenli olarak 31/4k gün döngünün sonunda ölçülmüştür. Ortalama infiltrasyon oranları KTBT kolonu için 13,22 cm/gün, TBT kolonu için 15,28 cm/gün olarak hesaplanmıştır. Kil içeriği yüksek topraklarda infiltrasyon oranının düşük olması beklenen bir durum olduğu için bulunan sonuçlar literatür ile uyumludur. Kolonlardaki hidrolik alıkonma süresi ise KTBT kolonu için 5,67 gün, TBT kolonu için 4,91 gün olarak hesaplanmıştır.

5.2 pH Değişimleri

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde sıcaklık ölçümleri yapılmış ve Tablo 5.1’de iki kolon için farklı toprak derinliklerinden alınan numunelerdeki pH değerleri verilmiştir. Numunelerdeki pH değerleri KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 7,15-8,11 ve 7,17-8,47 aralığında değişmiştir.

İki farklı toprak tipi açısından bakıldığı zaman pH değişimlerinde dikkate değer bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Fakat toprak derinlikleri dikkate alındığında düşük miktarda da olsa ortalama pH değerlerinde derinlik arttıkça bir azalma olduğu görülmektedir. Bu da amonyumun katyon değişimi ile birlikte toprakta tutulması ile birlikte ortamdan H⁺ iyonunun azalmasına bağlanabilir.

Tablo 5.1: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile pH değişimleri

Toprak Derinliği (cm)	KTBT Kolonunda pH Değişimi				
	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	7,93	7,84	7,76	7,62	7,56
Minimum	7,41	7,15	7,63	7,41	7,29
Maksimum	8,23	8,11	7,97	7,94	7,29
Standart sapma	0,22	0,30	0,11	0,18	0,16
%10 Yüzdilik	7,69	7,60	7,64	7,47	7,39
%50 Yüzdilik	7,99	7,92	7,74	7,52	7,63
%90 Yüzdilik	8,12	8,08	7,90	-	7,88
Toprak Derinliği (cm)	TBT Kolonunda pH Değişimi				
	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	7,93	7,94	7,74	7,83	7,63
Minimum	7,41	7,74	7,36	7,17	7,33
Maksimum	8,23	8,19	8,14	8,47	7,86
Standart sapma	0,22	0,16	0,28	0,37	0,17
%10 Yüzdilik	7,69	7,79	7,45	7,50	7,41
%50 Yüzdilik	7,99	7,91	7,72	7,84	7,65
%90 Yüzdilik	8,12	8,13	8,05	-	8,19

5.3 Elektriksel İletkenlik (EC) Değişimleri

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde EC ölçümleri yapılmış ve Tablo 5.2’te iki kolon için farklı toprak derinliklerinden alınan numunelerdeki EC değerleri verilmiştir. Numunelerdeki EC değerleri KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 1217-1706 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 1231-1798 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişmiştir.

Her iki kolonda da ortalama EC değerleri en son numune alma vanasından alınan numunelerde giriş numunelerinden daha yüksek çıkmıştır. Toprak ortamından kaynaklanan çözülmüş maddeler nedeniyle KTBT ile çalıştırılan kolonlar boyunca EC değeri artarken, TBT ile çalıştırılan kolonlar boyunca düzenli bir artış gözlemlenmemiştir. Bunun sebebi ise süzülen atıksu ile birlikte toprağın tın bünyesinden dolayı suya geçmesi olarak düşünülmektedir.

Tablo 5.2: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile EC değişimleri

		KTBT Kolonunda EC Değişimi (µS/cm)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	1377,80	1354,00	1412,25	1437,44	1523,42	
Minimum	1240,00	1231,00	1217,00	1264,00	1389,00	
Maksimum	1537,00	1478,00	1630,00	1570,00	1706,00	
Standart sapma	89,78	81,56	130,09	114,69	102,19	
%10 Yüzdellik	1305,70	1277,90	1275,10	1276,80	1416,00	
%50 Yüzdellik	1305,00	1352,00	1408,00	1435,00	1509,00	
%90 Yüzdellik	1480,30	1460,50	1555,10	-	1562,80	
		TBT Kolonunda EC Değişimi (µS/cm)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	1377,80	1326,50	1355,50	1548,12	1528,71	
Minimum	1240,00	1231,00	1276,00	1401,00	1456,00	
Maksimum	1537,00	1465,00	1477,00	1798,00	1639,00	
Standart sapma	89,78	77,95	74,08	122,58	68,78	
%10 Yüzdellik	1305,70	1258,00	1278,00	1440,90	1466,20	
%50 Yüzdellik	1350,00	1318,50	1360,50	1527,00	1501,00	
%90 Yüzdellik	1480,30	1403,00	1428,00	-	1685,30	

5.4 Sıcaklık Değişimleri

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde sıcaklık ölçümleri yapılmış ve Tablo 5.3'te iki kolon için farklı toprak derinliklerinden alınan numunelerdeki sıcaklık değerleri verilmiştir. Numunelerdeki sıcaklık değerleri KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 19,3-21,2 °C ve 17,7-21,8°C aralığında değişmiştir. Yapılan çalışmalarda mevsimsel bir değişim olmamakla birlikte kolon derinliklerine bağlı olarak sıcaklıklarda büyük değişiklikler gözlenmemiştir.

Tablo 5.3: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile sıcaklık değişimleri

		KTBT Kolonunda Sıcaklık Değişimi (°C)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	19,99	19,87	20,17	20,27	20,44	
Minimum	19,40	19,30	19,70	19,70	19,80	
Maksimum	20,90	21,20	20,80	21,20	21,00	
Standart sapma	0,43	0,60	0,43	0,56	0,48	
%10 Yüzdelerik	19,58	19,44	19,70	19,78	19,98	
%50 Yüzdelerik	19,90	19,90	20,15	20,00	20,30	
%90 Yüzdelerik	20,45	20,64	20,66	-	21,12	
		TBT Kolonunda Sıcaklık Değişimi (°C)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	19,99	20,28	20,20	20,07	20,14	
Minimum	19,40	19,50	19,40	17,70	19,70	
Maksimum	20,90	21,80	21,10	21,10	20,80	
Standart sapma	0,43	0,86	0,67	1,11	0,47	
%10 Yüzdelerik	19,58	19,55	19,55	19,03	19,70	
%50 Yüzdelerik	19,90	20,10	20,10	20,10	20,10	
%90 Yüzdelerik	20,45	21,20	20,95	-	21,10	

5.5 Çözünmüş Oksijen (ÇO) Değişimleri

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde ÇO ölçümleri yapılmış ve Tablo 5.4'te iki kolon için farklı toprak derinliklerinden alınan numunelerdeki ÇO değerleri verilmiştir. Numunelerdeki ÇO değerleri KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 4,03-7,88 mg/L ve 5,22-7,54 mg/L aralığında değişmiştir.

Her iki kolonda da ortalama ÇO konsantrasyonu ilk 10 cm derinlikte hızlı bir azalma göstermiş daha sonra kolon boyunca düşük konsantrasyonlarda azalmaya devam etmiştir. Bunun nedeni organik maddenin varlığına bağlı olarak ilk 10 cm derinlikte yüksek miktarda mikrobiyal faaliyetin gerçekleşmesi ve bu sırada ÇO'nin fazla tüketilmesidir.

Tablo 5.4: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile O değişimleri

Toprak Derinliği (cm)	KTBT Kolonunda O Konsantrasyonları (mg/L)				
	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	7,30	6,84	6,53	6,05	6,27
Minimum	6,45	5,64	4,82	4,03	5,14
Maksimum	8,10	7,76	7,88	7,45	7,32
Standart sapma	0,67	0,85	1,22	1,24	0,82
%10 Yüzdelik	6,45	5,95	5,08	4,65	5,42
%50 Yüzdelik	7,22	6,71	6,83	6,17	6,12
%90 Yüzdelik	8,07	7,76	7,74	7,29	7,29
Toprak Derinliği (cm)	TBT Kolonunda O Konsantrasyonları (mg/L)				
	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	7,30	6,44	6,26	6,45	6,43
Minimum	6,45	5,22	5,32	5,63	5,24
Maksimum	8,10	7,54	7,23	7,45	7,50
Standart sapma	0,67	0,88	0,70	0,66	0,87
%10 Yüzdelik	6,45	5,60	5,58	5,73	5,37
%50 Yüzdelik	7,22	6,24	6,24	6,41	6,30
%90 Yüzdelik	8,07	7,33	6,96	-	7,24

5.6 Toplam Organik Karbon (TOK) Değişimleri

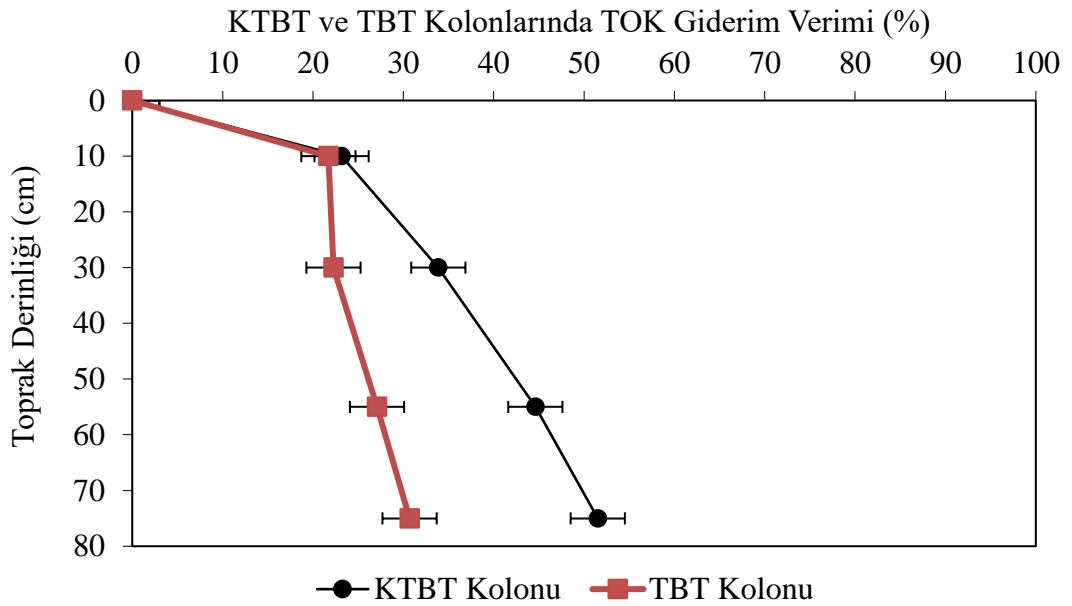
Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde TOK konsantrasyonları ölçülmüş buna bağlı olarak da kolon boyunca TOK giderim verimleri hesaplanmıştır. Tablo 5.5'te iki kolon için farklı toprak derinliklerinde TOK giderim verimleri tablo halinde, Şekil 5.1'de ise KTBT ve TBT kolonlarındaki TOK giderim verimleri grafiksel olarak verilmiştir.

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde ölçülen TOK konsantrasyonları her iki kolon için de Tablo 5.6'da verilmiştir. Numunelerdeki TOK konsantrasyonları KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 4,02-12,80 ve 5,98-13,90 mg/L aralığında değişmiştir.

Tablo 5.5: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile TOK giderim verimliliğindeki değişiklikler

		KTBT Kolonunda TOK Giderim Verimi (%)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	-	23,16	33,87	44,61	51,52	
Minimum	-	12,90	26,07	34,95	39,21	
Maksimum	-	33,59	44,92	58,31	60,32	
Standart sapma	-	6,97	6,30	9,27	9,55	
%10 Yüzdilik	-	16,45	27,12	35,37	41,15	
%50 Yüzdilik	-	23,03	33,64	41,63	53,84	
%90 Yüzdilik	-	30,01	40,69	54,50	60,26	

		TBT Kolonunda TOK Giderim Verimi (%)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	-	21,71	22,27	27,09	30,69	
Minimum	-	9,16	5,34	3,05	13,27	
Maksimum	-	37,90	33,53	52,22	53,32	
Standart sapma	-	11,48	11,98	18,53	15,22	
%10 Yüzdilik	-	10,75	9,013	8,72	16,59	
%50 Yüzdilik	-	20,92	26,70	22,28	26,70	
%90 Yüzdilik	-	33,71	32,62	51,24	48,78	



Şekil 5.1: KTBT ve TBT kolonlarında TOK giderim verimi

Ortalama TOK konsantrasyonu 12,58 mg/L'den 75 cm toprak derinliğindeki en alt vanadan alınan numunede KTBT kolonunda 5,68 mg/L'ye TBT kolonunda ise 8,59 mg/L'ye düşmüştür. Bu veriler doğrultusunda TOK giderim verimleri KTBT ve TBT için sırasıyla ortalama %51,52 ve %30,69 olarak hesaplanmıştır.

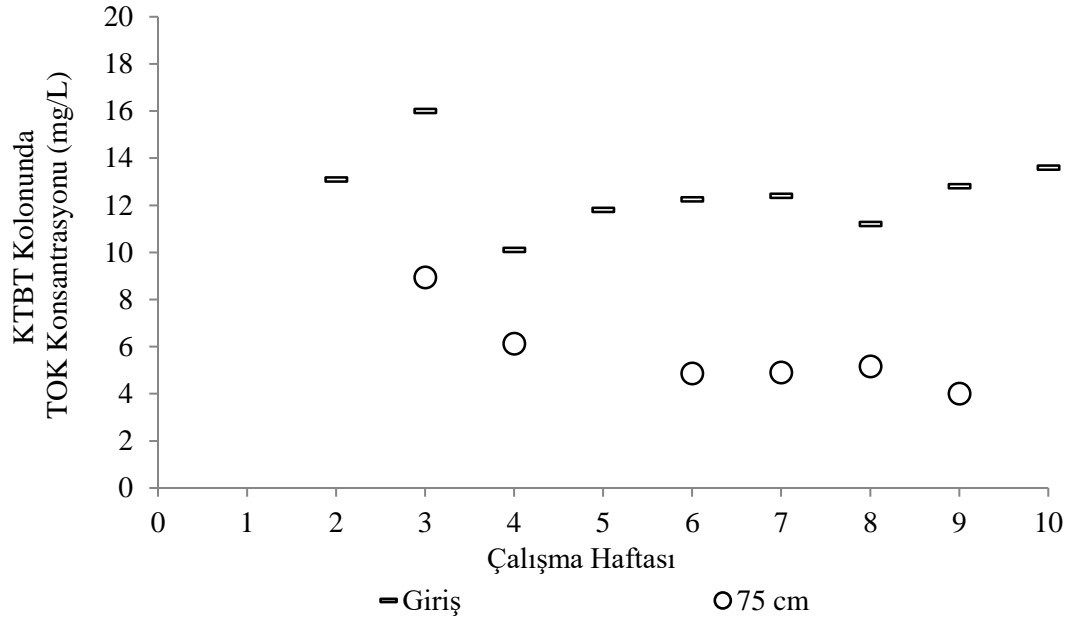
Tablo 5.6: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile TOK değişimleri

		KTBT Kolonunda TOK Konsantrasyonları (mg/L)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	12,58	9,46	8,16	6,58	5,68	
Minimum	10,10	7,98	6,83	4,92	4,02	
Maksimum	16,00	12,80	10,50	8,43	8,95	
Standart sapma	1,65	1,74	1,16	1,29	1,73	
%10 Yüzdilik	10,98	8,05	7,10	5,09	4,45	
%50 Yüzdilik	12,40	8,70	8,14	6,86	5,04	
%90 Yüzdilik	14,08	11,60	9,16	-	7,94	
		TBT Kolonunda TOK Konsantrasyonları (mg/L)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	12,58	10,70	10,48	9,20	8,59	
Minimum	10,10	7,70	9,04	6,12	5,98	
Maksimum	16,00	13,90	12,40	12,7	12,10	
Standart sapma	1,60	2,32	1,34	2,41	2,21	
%10 Yüzdilik	10,98	8,56	9,18	6,48	6,40	
%50 Yüzdilik	12,40	10,13	10,60	9,80	8,35	
%90 Yüzdilik	14,08	13,10	11,84	-	11,86	

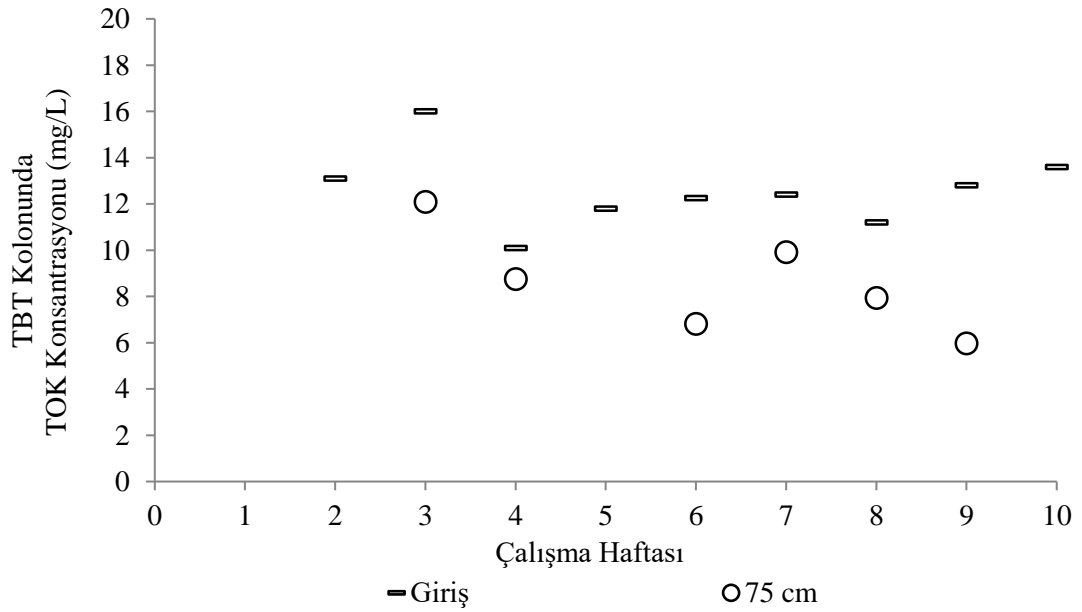
Her iki kolonda da ilk 10 cm derinlikte hızlı bir organik madde giderimi gerçekleşmiştir. Bunun nedeni toprağın yüzeye yakın bölgelerinde çözülmüş oksijen ve organik maddenin fazla olmasına bağlı olarak biyolojik giderimin de fazla olmasıdır.

TBT kolonunda TOK giderim verimi KTBT kolonuna göre daha düşük olmuştur. Bunun nedeni ise daha önceden kolonların hidrolik özellikleri başlığında bahsedildiği üzere tınlı toprağın hidrolik alıkonma süresinin daha az olmasıdır.

Çünkü hem yeterli mikroorganizmanın gelişebilmesi hem de yeterli biyolojik parçalanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli alıkonma süresine ihtiyaç vardır.



Şekil 5.2: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki TOK konsantrasyonu değişiklikleri



Şekil 5.3: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki TOK konsantrasyonu değişiklikleri

Çalışmalar 10 hafta boyunca devam etmiştir. Çalışmalar süresinde haftalara bağlı olarak TOK giderim verimlerinde herhangi bir azalma gözlenmemiştir. Çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki TOK konsantrasyonları KTBT kolonunu için Şekil 5.2’te, TBT kolonu için ise Şekil 5.3’te verilmiştir.

5.7 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Değişimleri

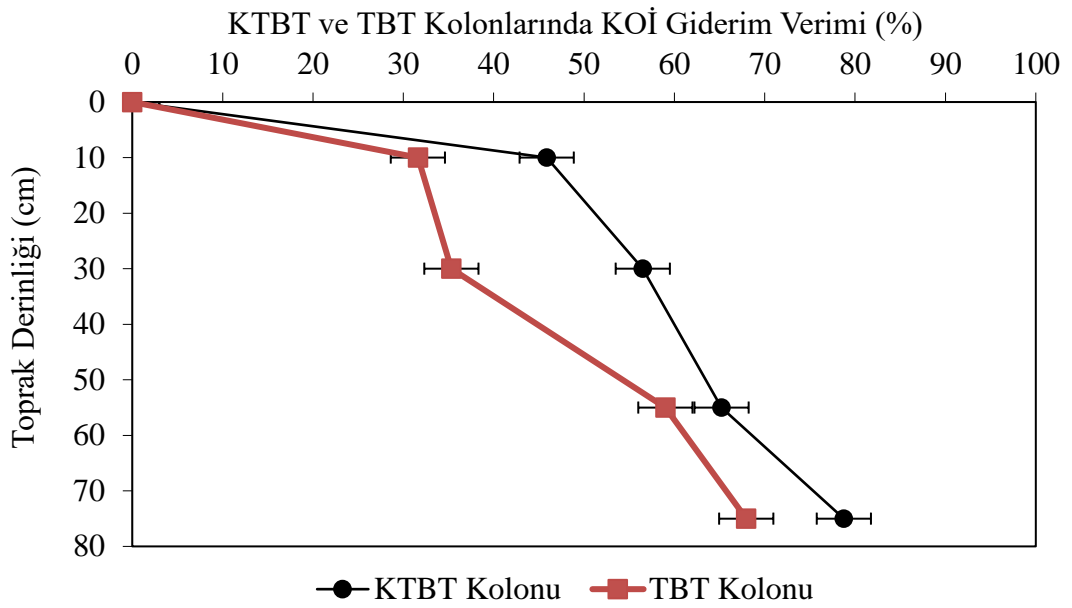
Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde KOİ konsantrasyonları ölçülmüş buna bağlı olarak da kolon boyunca KOİ giderim verimleri hesaplanmıştır. Tablo 5.7’de iki kolon için farklı toprak derinliklerinde KOİ giderim verimleri tablo halinde, Şekil 5.4’te KTBT ve TBT kolonlarındaki KOİ giderim verimleri grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 5.7: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile KOİ giderim verimliliğindeki değişiklikler

KTBT Kolonunda KOİ Giderim Verimi (%)					
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	-	45,87	56,50	65,22	78,76
Minimum	-	12,50	16,07	17,86	54,79
Maksimum	-	67,64	85,51	81,43	93,24
Standart sapma	-	17,09	23,56	19,88	16,72
%10 Yüzdilik	-	27,08	24,36	48,47	58,04
%50 Yüzdilik	-	46,87	63,03	74,42	86,83
%90 Yüzdilik	-	61,88	75,91	85,15	91,40
TBT Kolonunda KOİ Giderim Verimi (%)					
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	-	31,61	35,32	59,00	67,95
Minimum	-	28,57	7,25	36,23	5,88
Maksimum	-	39,13	51,43	68,92	93,02
Standart sapma	-	4,497	16,79	11,08	29,46
%10 Yüzdilik	-	28,57	18,23	47,55	36,64
%50 Yüzdilik	-	29,33	41,33	61,33	79,71
%90 Yüzdilik	-	36,45	47,61	68,03	87,48

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde ölçülen KOİ konsantrasyonları her iki kolon için de Tablo 5.8’de verilmiştir. Numunelerdeki KOİ konsantrasyonları KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 5,00-54,00 mg/L ve 3,00-70,00 mg/L aralığında değişmiştir.

Ortalama KOİ konsantrasyonu 62,50 mg/L’den 75 cm toprak derinliğindeki en alt vanadan alınan numunede KTBT kolonunda 13,14 mg/L’ye TBT kolonunda ise 16,43 mg/L’ye düşmüştür. Bu veriler doğrultusunda KOİ giderim verimleri KTBT ve TBT için sırasıyla ortalama %78,76 ve %67,95 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.4: KTBT ve TBT kolonlarında KOİ giderim verimi

TOK ile KOİ arasında doğru orantılı bir bağlantı vardır. Bu nedenle TOK giderim verimlerinde olduğu gibi KOİ giderim verimlerinde de derinlikle paralel olarak bir artış gözlenmiştir. Her iki kolonda da TOK sonuçlarında olduğu gibi ilk 10 cm derinlikte hızlı bir organik madde giderimi gerçekleşmiştir. KOİ giderim verimi ilk 10 cm toprak derinliğinde KTBT kolonunda %46, TBT kolonunda ise %32 civarında gerçekleşmiştir. Bunun nedeni daha önce açıklandığı üzere toprağın yüzeye yakın bölgelerinde çözünmüş oksijen ve organik maddenin fazla olmasına bağlı olarak biyolojik giderimin de fazla olmasıdır.

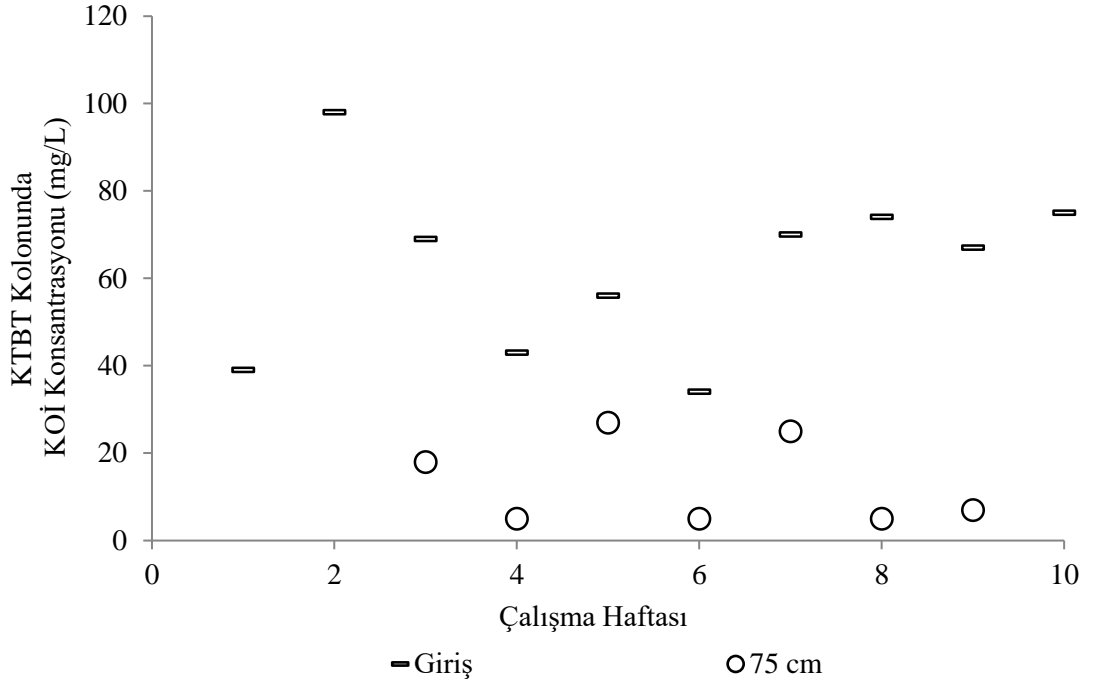
KTBT kolonunda hidrolik alıkonma süresinin daha uzun olmasına bağlı olarak KTBT kolonunda TOK giderim verimine benzer şekilde KOİ giderim verimi

de TBT kolonuna göre daha yüksek olmuştur. Sharma ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmalarda ikincil arıtılmış atıksu kullanarak TAAS sırasında toprak türlerinin çözülmüş organik karbon giderimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kil oranının yüksek olduğu toprak tipindeki giderim verimi diğer toprak tiplerine nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Bizim çalışmamız da literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında, benzer sonuçlar elde edilmiş olup kil oranı fazla olan killi tın bünyeli toprak hem KOİ hem de TOK giderim verimleri açısından tın bünyeli toprağa göre daha etkili olmuştur.

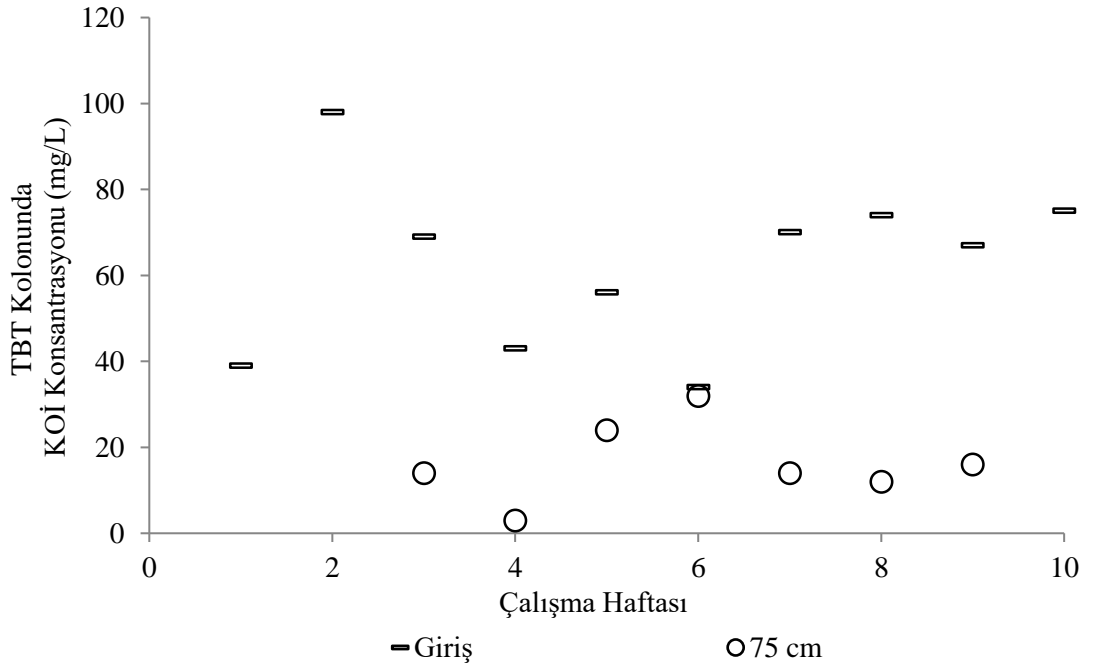
Tablo 5.8: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile KOİ değişimleri

		KTBT Kolonunda KOİ Konsantrasyonları (mg/L)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	62,50	32,75	25,87	21,44	13,14	
Minimum	34,00	11,00	10,00	8,00	5,00	
Maksimum	98,00	54,00	47,00	46,00	27,00	
Standart sapma	19,59	14,20	15,07	14,10	9,94	
%10 Yüzdilik	38,50	18,70	10,00	10,40	5,00	
%50 Yüzdilik	68,00	30,50	26,50	14,00	7,00	
%90 Yüzdilik	77,30	50,50	45,60	-	43,60	
		TBT Kolonunda KOİ Konsantrasyonları (mg/L)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	62,50	53,17	47,67	31,12	16,43	
Minimum	34,00	42,00	34,00	14,00	3,00	
Maksimum	98,00	70,00	64,00	44,00	32,00	
Standart sapma	19,59	9,26	13,19	11,28	9,24	
%10 Yüzdilik	38,50	46,00	35,50	20,30	8,40	
%50 Yüzdilik	68,00	51,50	43,50	28,00	14,00	
%90 Yüzdilik	77,30	62,00	64,00	-	44,00	

Çalışmalar süresinde haftalara bağlı olarak TOK giderim verimlerine benzer şekilde KOİ giderim verimlerinde de herhangi bir azalma gözlenmemiştir. Çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki KOİ konsantrasyonları KTBT kolonu için Şekil 5.5'te, TBT kolonu için ise Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki KOİ konsantrasyonu değişiklikleri



Şekil 5.6: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki KOİ konsantrasyonu değişiklikleri

5.8 Toplam Azot (N) Değişimleri

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde toplam-N konsantrasyonları ölçülmüş buna bağlı olarak kolon boyunca toplam-N giderim verimleri hesaplanmıştır. Tablo 5.9’da iki kolon için farklı toprak derinliklerinde toplam-N giderim verimleri tablo halinde, Şekil 5.7’de KTBT ve TBT kolonlarındaki toplam-N giderim verimleri grafiksel olarak verilmiştir.

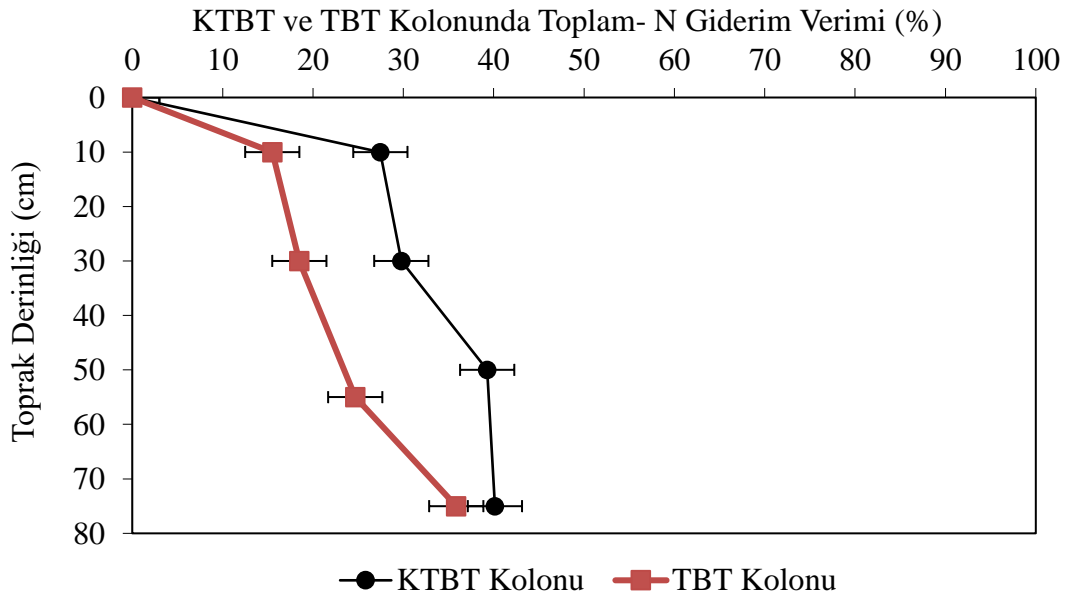
Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde ölçülen toplam-N konsantrasyonları her iki kolon için de Tablo 5.10’da verilmiştir. Numunelerdeki toplam-N konsantrasyonları KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 6,70-38,20 mg/L ve 11,80-41,10 mg/L aralığında değişmiştir.

Tablo 5.9: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam-N giderim verimliliğindeki değişiklikler

		KTBT Kolonunda Toplam-N Giderimi (%)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	-	27,46	29,78	39,28	40,14	
Minimum	-	7,95	9,31	2,051	11,28	
Maksimum	-	43,49	56,13	83,86	65,86	
Standart sapma	-	11,44	17,08	27,27	21,52	
%10 Yüzdilik	-	12,26	10,69	12,36	17,92	
%50 Yüzdilik	-	29,46	29,14	33,33	37,92	
%90 Yüzdilik	-	38,46	48,36	70,30	64,57	
		TBT Kolonunda Toplam-N Giderimi (%)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	-	15,49	18,49	24,68	35,86	
Minimum	-	12,08	0,72	3,98	13,43	
Maksimum	-	20,76	44,30	70,13	61,83	
Standart sapma	-	3,71	15,84	21,46	18,54	
%10 Yüzdilik	-	12,71	6,60	7,83	15,68	
%50 Yüzdilik	-	14,57	15,99	21,15	36,30	
%90 Yüzdilik	-	19,01	32,99	43,56	58,24	

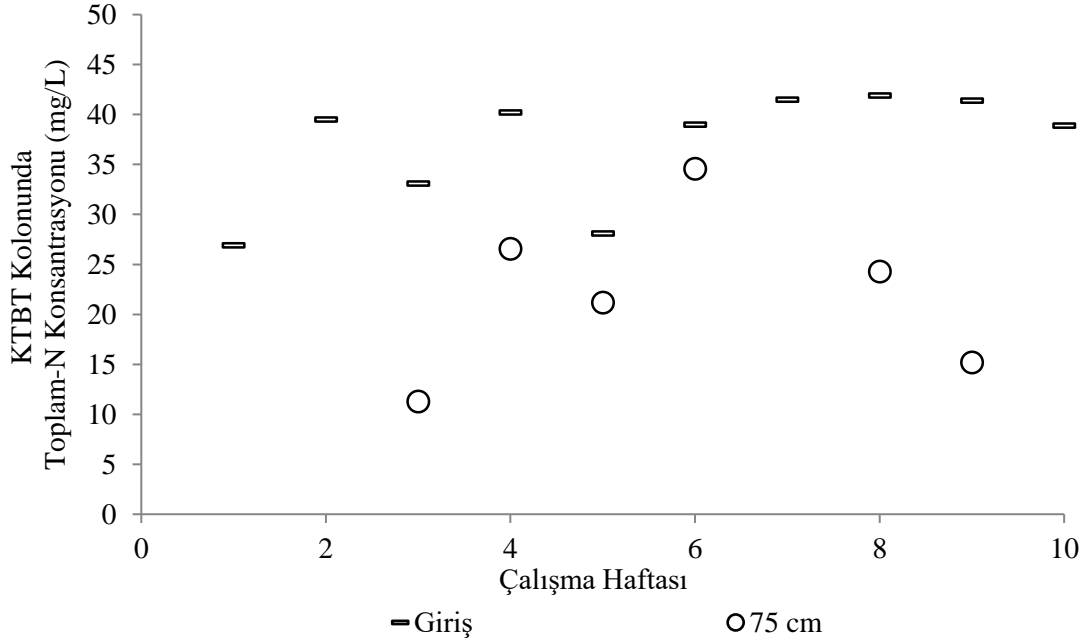
Tablo 5.10: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam-N değişimleri

KTBT Kolonunda Toplam-N Konsantrasyonları (mg/L)					
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	37,05	26,46	26,15	22,94	22,20
Minimum	26,90	15,20	11,80	6,70	11,30
Maksimum	41,90	38,20	38,00	38,20	34,60
Standart sapma	5,62	7,54	9,49	12,06	8,32
%10 Yüzelik	27,98	17,09	15,51	8,46	13,25
%50 Yüzelik	39,25	27,60	26,75	26,70	22,75
%90 Yüzelik	41,54	34,91	35,62	-	34,76
TBT Kolonunda Toplam-N Konsantrasyonları (mg/L)					
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75
Ortalama	37,05	31,83	29,67	28,19	23,86
Minimum	26,90	25,40	22,00	11,80	15,80
Maksimum	41,90	36,40	41,10	38,60	34,80
Standart sapma	5,61	4,29	7,38	8,06	7,32
%10 Yüzelik	27,98	29,60	22,30	20,41	17,06
%50 Yüzelik	39,25	32,75	28,60	29,35	23,00
%90 Yüzelik	41,54	35,85	38,10	-	35,52

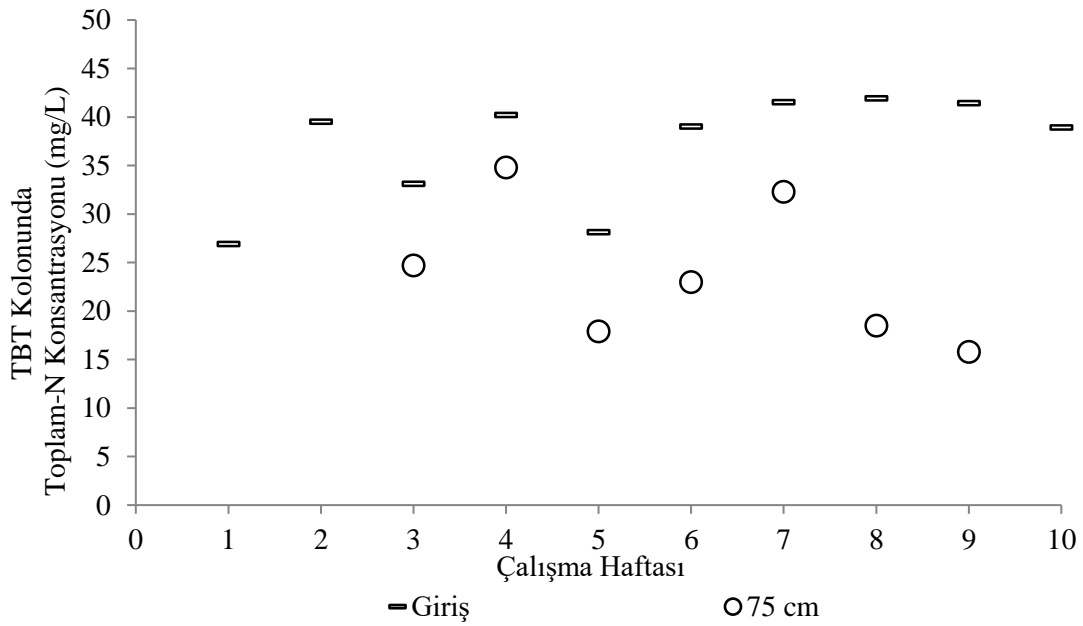


Şekil 5.7: KTBT kolonlarında toplam-N giderim verimi

Çalışmalar süresinde haftalara bağlı olarak toplam-N giderim verimlerinde herhangi bir azalma gözlenmemiştir. Çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam -N konsantrasyonları KTBT kolonunu için Şekil 5.8’de, TBT kolonu için ise Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.8: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam-N konsantrasyonu değişiklikleri



Şekil 5.9: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam-N konsantrasyonu değişiklikleri

Ortalama toplam-N konsantrasyonu 37,05 mg/L'den 75 cm toprak derinliğindeki en alt vanadan alınan numunede KTBT kolonunda 22,20 mg/L'ye TBT kolonunda ise 23,86 mg/L'ye düşmüştür. Bu veriler doğrultusunda toplam-N giderim verimleri KTBT ve TBT için sırasıyla ortalama %40,14 ve %35,86 olarak hesaplanmıştır.

İlk 10 cm toprak derinliğinde organik maddelerin gideriminde olduğu gibi azot giderimi de daha fazla gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak organik maddelerin giderilmesinde olduğu gibi biyolojik parçalanmanın yanısıra TAAS ile ilgili daha önceki literatür çalışmaları da dikkate alındığında adsorbsiyon, iyon değiştirme ve filtrasyon mekanizmaları olarak düşünülmektedir. Biyolojik N giderimi nitrifikasyon/denitrifikasyon mekanizmaları ile gerçekleşiyor olmasına rağmen ÇO konsantrasyonu tüm kolonlar ve derinlikler boyunca 1 mg/L altına düşmediği için denitrifikasyon prosesi gerçekleşmemiştir. Metcalf ve Eddy (1991) denitrifikasyon sürecinin başlayabilmesi için atıksudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 1 mg/L'nin altına düşmesi gerektiğini belirtmiştir.

Bu nedenle toplam-N konsantrasyonunun azalmasının toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK) ne bağlı olarak amonyum iyon değişimi ya da adsorbsiyon ile gerçekleştiği düşünülmektedir. KTBT kolonunda toplam-N gideriminin TBT kolonuna göre biraz daha fazla olmasının sebebi toprak bünyesindeki kil ve organik madde artışına bağlı olarak KDK'nin yüksek olmasıdır. Nitekim Tablo 4.2'de daha önce verildiği gibi KDK, KTBT için 19,55 me/100g, TBT için 11,78 me/100g olarak ölçülmüştür.

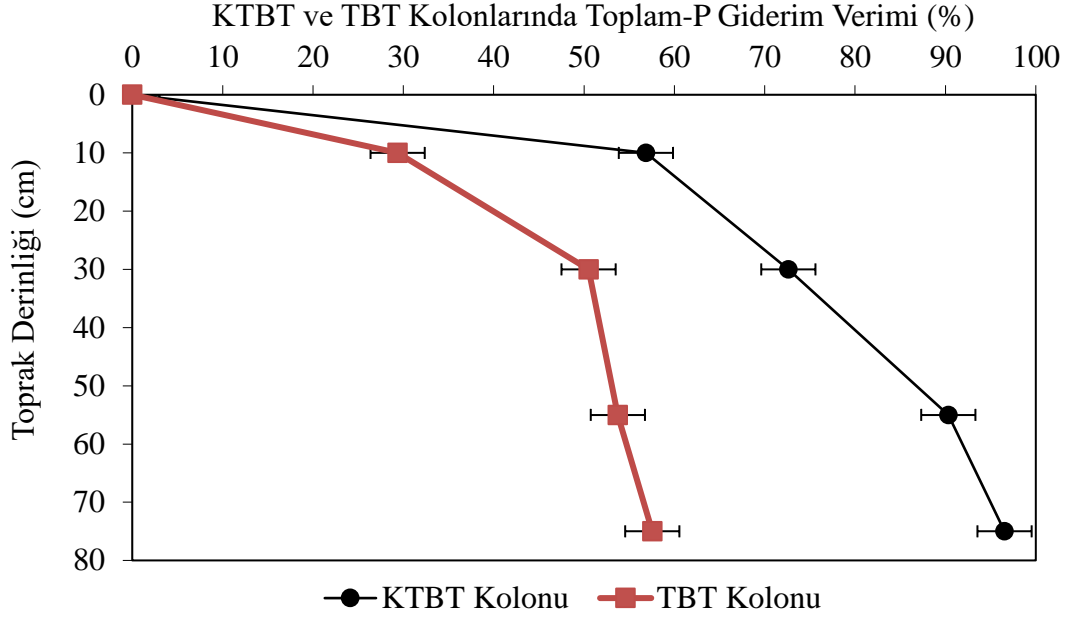
5.9 Toplam Fosfor (P) Değişimleri

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde toplam-P konsantrasyonları ölçülmüş buna bağlı olarak kolon boyunca toplam-P giderim verimleri hesaplanmıştır. Tablo 5.11'de iki kolon için farklı toprak derinliklerinde toplam-P giderim verimleri tablo halinde, Şekil 5.10'da KTBT ve TBT kolonlarındaki toplam-P giderim verimleri grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 5:11 KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam-P giderim verimliliğindeki değişiklikler

		KTBT Kolonunda Toplam-P Giderimi (%)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	-	56,85	72,61	90,32	96,54	
Minimum	-	12,56	72,61	70,53	94,59	
Maksimum	-	78,73	86,18	96,75	98,06	
Standart sapma	-	24,62	10,69	9,20	1,25	
%10 Yüzdilik	-	30,97	62,25	77,39	95,12	
%50 Yüzdilik	-	69,51	70,21	94,47	96,85	
%90 Yüzdilik	-	78,17	85,65	96,54	97,65	
		TBT Kolonunda Toplam-P Giderimi (%)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	-	29,37	50,50	53,74	57,55	
Minimum	-	13,82	40,95	27,70	37,16	
Maksimum	-	50,75	73,93	76,78	74,12	
Standart sapma	-	14,08	13,46	17,44	13,24	
%10 Yüzdilik	-	16,36	42,06	33,47	44,43	
%50 Yüzdilik	-	29,65	44,40	59,39	56,36	
%90 Yüzdilik	-	43,44	64,16	71,72	71,87	

Giriş ve ıslak döngü sonunda alınan numunelerde ölçülen toplam-P konsantrasyonları her iki kolon için de Tablo 5.12’de verilmiştir. Numunelerdeki toplam-P konsantrasyonları KTBT ve TBT kolonları için sırasıyla 0,07-2,24 mg/L ve 0,93-3,92 mg/L aralığında değişmiştir. Ortalama toplam-P konsantrasyonu 2,92 mg/L’den 75 cm toprak derinliğindeki en alt vanadan alınan numunede KTBT kolonunda 0,09 mg/L’ye TBT kolonunda ise 1,05 mg/L’ye düşmüştür. Bu veriler doğrultusunda toplam-P giderim verimleri KTBT ve TBT için sırasıyla ortalama %96,54 ve %57,55 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.10: KTBT kolonlarında toplam-P giderim verimi

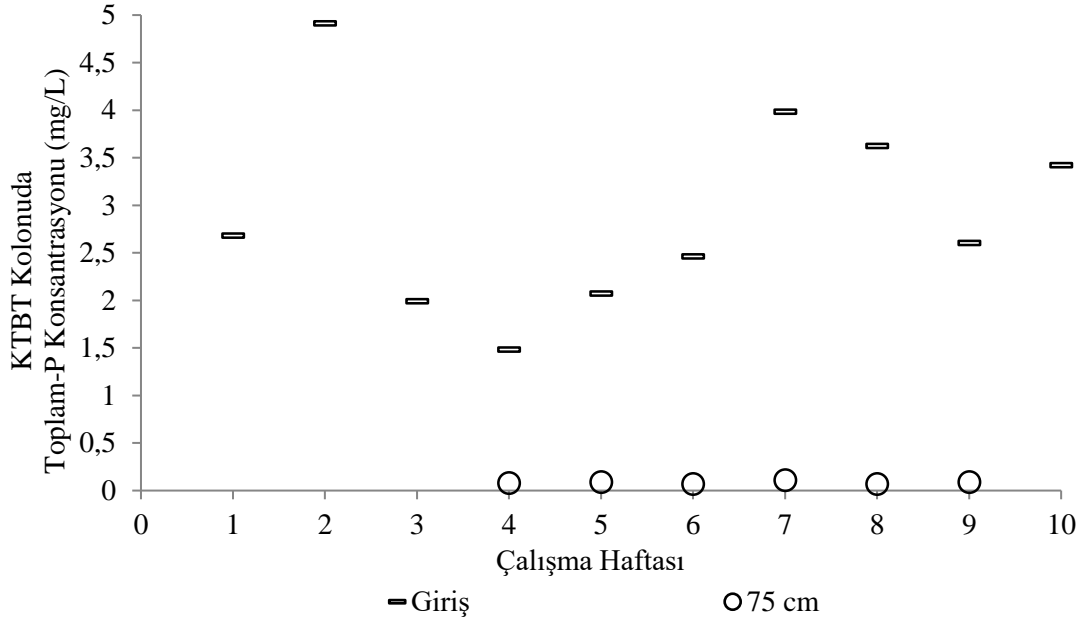
Her iki kolonda da derinlik boyunca toplam fosfor konsantrasyonunda azalma gözlemlenmiştir. Organik madde konsantrasyonundaki ilk 10 cm’de gerçekleşen hızlı azalmaya benzer şekilde toplam fosfor konsantrasyonu da ilk 10 cm’de hızlı bir azalma gözlemlenmiştir. Daha sonra kolonlar boyunca toplam-P konsantrasyonu düzenli bir şekilde azalmaya devam etmiştir.

Organik madde gideriminin biyolojik parçalanma ile gerçekleşmiş olmasına karşı toplam-P gideriminin ilk 10cm’de yüksek oranda giderilmesi fiziksel çökme ve adsorpsiyon ile açıklanmaktadır. Dünyadaki gerçek ölçekli TAAS uygulamalarında filtrasyon havuzlarında zaman içerisinde oluşan alglerin havuz tabanına çöktüğü, bu alg oluşumu ve çökmesi ile de fosfor gideriminin gerçekleştiği belirtilmektedir (EPA 2003). Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar boyunca dikkate değer bir alg oluşumu gözlenmemekle beraber zaman içerisinde bazı otsu bitkilerin toprak yüzeyinde büyüdüğü gözlemlenmiştir.

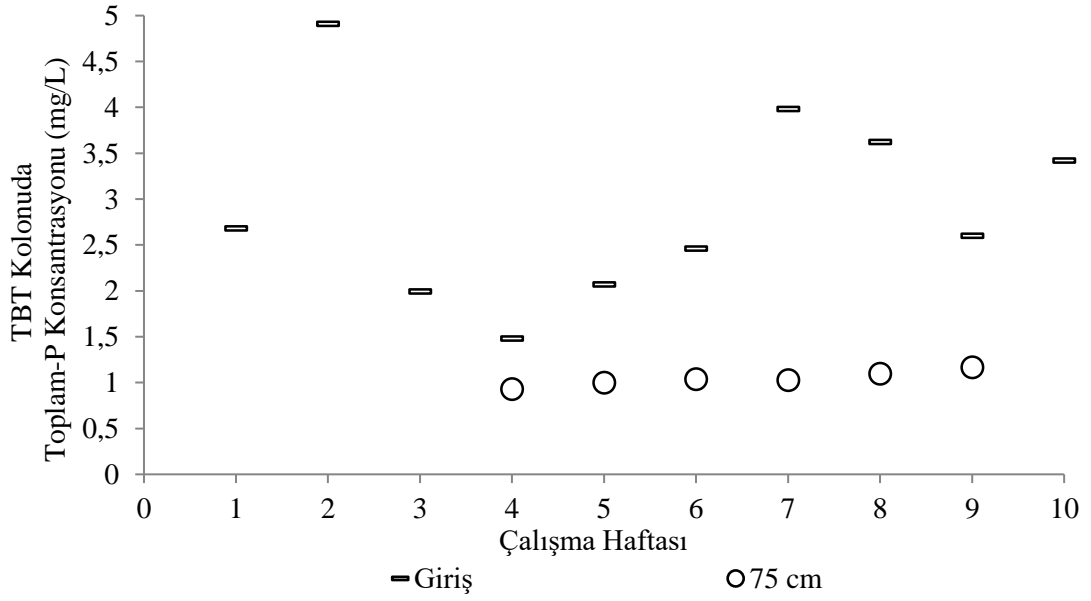
Çalışmalar süresinde haftalara bağlı olarak toplam-P giderim verimlerinde herhangi bir azalma gözlenmemiştir. Çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam-P konsantrasyonları KTBT kolonunu için Şekil 5.11’de, TBT kolonu için ise Şekil 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12: KTBT ve TBT kolonlarında toprak derinliği ile toplam-P değişimleri

		KTBT Kolonunda Toplam-P Konsantrasyonları (mg/L)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	2,92	1,18	0,81	0,24	0,09	
Minimum	1,48	0,55	0,29	0,08	0,07	
Maksimum	4,91	2,24	1,52	0,61	0,11	
Standart sapma	1,05	0,63	0,48	0,19	0,02	
%10 Yüzdilik	1,94	0,56	0,32	0,10	0,07	
%50 Yüzdilik	2,64	0,96	0,77	0,14	0,08	
%90 Yüzdilik	4,07	1,94	1,46	-	0,57	
		TBT Kolonunda Toplam-P Konsantrasyonları (mg/L)				
Toprak Derinliği (cm)	Giriş	10	30	55	75	
Ortalama	2,92	2,51	1,72	1,28	1,05	
Minimum	1,48	1,14	1,12	1,06	0,93	
Maksimum	4,91	3,92	2,35	1,63	1,17	
Standart sapma	1,05	0,99	0,49	0,24	0,08	
%10 Yüzdilik	1,93	1,60	1,20	1,06	0,96	
%50 Yüzdilik	2,64	2,26	1,75	1,2	1,03	
%90 Yüzdilik	4,07	3,67	2,21	-	1,59	



Şekil 5.11: KTBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam-P konsantrasyonu değişiklikleri



Şekil 5.12: TBT kolonunda çalışma haftaları ile son numune alma derinliğindeki toplam-P konsantrasyonu değişiklikleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında doğal arıtım yöntemlerinden biri olan toprak akifer arıtma sisteminin farklı toprak tipleri kullanılarak ikincil arıtılmış atıksulardan organik ve besin maddesi giderimi üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çalışmalar sonucunda KTBT'nin, TBT'a göre hem organik maddelerin hem de besin maddelerinin giderilmesinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda TOK giderimi KTBT kolonunda %51,52; TBT kolonunda %30,69 olarak, KOİ giderimi ise KTBT kolonunda %78,76; TBT kolonunda %67,95 olarak ölçülmüştür. Sharma ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmalarda ikincil arıtılmış atıksu kullanarak TAAS sırasında toprak türlerinin çözünmüş organik karbon giderimi üzerindeki etkisini incelemiştirlerdir. Kil oranının yüksek olduğu toprak tipindeki giderim verimi diğer toprak tiplerine nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada da literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmiş olup kil oranı fazla olan killi tın bünyeli toprakta hem KOİ hem de TOK giderim verimlerinin tın bünyeli toprağa göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Toprak akifer arıtma sistemlerinde organik maddelerin giderilmesi daha önceden belirtildiği gibi büyük oranda mikrobiyolojik parçalanma ile gerçekleşmektedir. Bu da atıksuyun topraktaki temas süresi ile doğrudan ilişkilidir. Hem yeterli mikroorganizmanın gelişebilmesi hem de yeterli biyolojik parçalanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli alıkonma süresine ihtiyaç vardır. Kolonlarda yapılan hidrolik çalışmalar sonucunda hidrolik alıkonma süresi KTBT kolonunda 5,67 gün hesaplanırken TBT kolonunda 4,91 gün olarak hesaplanmıştır. Buna göre KTBT kolonu organik maddelerin parçalanması için daha fazla temas süresine imkan vermiştir. Buna ilaveten partikül haldeki organik maddelerin KTBT kolonunda daha iyi filtre edilmesi de organik maddelerin gideriminde etkili bir faktördür.

Toprak akifer arıtma sistemlerinde azot giderimi adsorbsiyon, iyon değişirme, filtrasyon ve nitrifikasyon/denitrifikasyon mekanizmaları ile

gerçekleşmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda toplam-N KTBT kolonunda %40,14; TBT kolonunda %35,86 oranında giderilmiştir. Biyolojik azot giderimi nitrifikasyon/denitrifikasyon mekanizmaları ile gerçekleşiyor olmasına rağmen ÇO konsantrasyonu çalışma süresince tüm kolonlar ve derinlikler boyunca 1 mg/L'nin altına düşmediği için denitrifikasyon prosesi gerçekleşmemiştir. Bu nedenle toplam-N konsantrasyonundaki azalmanın toprağın katyon değişim kapasitesine bağlı olarak amonyum iyon değişimi ya da adsorpsiyon ile gerçekleştiği düşünülmektedir. KTBT kolonunda toplam-N gideriminin TBT kolonuna göre biraz daha fazla olmasının sebebi de KTBT'nin KDK'sinin daha yüksek olmasıdır. Bu sonuçlar literatürde Fox ve diğ. (2005) ve Ak ve Gündüz (2013) tarafından yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir.

Her iki kolonda da derinlik boyunca toplam fosfor konsantrasyonunda azalma gözlemlenmiştir. Özellikle toprak yüzeyinde havuzlanma nedeniyle su içerisindeki fosfor su tabanına çökerek hızlı bir giderim gerçekleşmiştir. Daha sonra kolonlar boyunca toplam-P giderimi adsorpsiyon ile düzenli bir şekilde artmaya devam etmiştir. Toplam-P giderim verimleri KTBT ve TBT için sırasıyla ortalama %96,54 ve %57,55 olarak hesaplanmıştır.

Her iki toprak tipi ile de yapılan arıtım çalışmalarında da toprak derinliği arttıkça tüm kalite parametrelerinin iyileştiği gözlenmiştir. TAAS'de özellikle yüzeye yakın toprak katmanlarının hem organik maddelerin hem de besin maddelerinin giderilmesinde etkisi büyük olmuştur. Bulunan sonuçlar Fox ve diğ. (2005) ve Quanrud ve diğ. (2003) tarafından yapılan çalışmalarla da desteklenmektedir.

Deneysel çalışmada ilk 10 cm derinlikte organik maddelerin hızlı bir şekilde giderilmesinin nedeni toprağın yüzeye yakın bölgelerinde çözünmüş oksijen ve organik maddenin fazla olmasına bağlı olarak biyolojik giderimin de fazla olmasıdır. İlk 10 cm toprak derinliğinde organik maddelerin gideriminde olduğu gibi besin maddelerinin giderimi de daha fazla gözlemlenmiştir. Bunun nedeni azot için organik maddelerin giderilmesinde olduğu gibi biyolojik parçalanmanın yanısıra TAAS ile ilgili daha önceki literatür çalışmaları da dikkate alındığında adsorpsiyon, iyon değiştirme ve filtrasyon mekanizmaları olarak düşünülmektedir. Fosforun ilk 10cm'de yüksek oranda giderilmesi ise kimyasal çökme, alg yapısında çökme ya da

adsorpsiyon ile açıklanmaktadır. Dünyadaki gerçek ölçekli TAAS uygulamalarında filtrasyon havuzlarında zaman içerisinde oluşan alglerin havuz tabanına çöktüğü, bu alg oluşumu ve çökmesi ile de fosfor gideriminin gerçekleştiği belirtilmektedir (EPA 2003). Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar boyunca dikkate değer bir alg oluşumu gözlenmemekle beraber zaman içerisinde bazı otsu bitkilerin toprak yüzeyinde büyüdüğü gözlemlenmiştir.

10 hafta boyunca devam eden TAAS çalışmaları süresinde hiçbir kalite parametresinin giderim veriminde azalmaya rastlanılmamıştır. Bu da EPA (2003), Ak ve Gündüz (2012, 2013), Fox ve diğ. (2005) ve Quanrud ve diğ. (2003) çalışmalarında gösterdikleri gibi gerek dünyadaki gerçek ölçekli uygulamalarla gerekse de laboratuvar ölçekli uygulamalarla olsun örtüşür bir bulgudur.

Tüm bulgular ve değerlendirmeler sonucunda TAAS'nin ikincil arıtılmış atıksuların ileri arıtılmasında hem organik hem de besin maddelerinin giderilmesinde oldukça etkili bir doğal arıtma yöntemi olduğu, toprak tipinin de arıtma veriminde etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

Ak, M. and Gündüz, O., “Comparison of organic matter removal from synthetic and real wastewater in a laboratory-scale soil aquifer treatment system”, *Water Air Soil Pollut*, 224, 1467-1483, (2012).

Ak, M. and Gündüz, O., “Fate of nutrients in secondary treated municipal wastewater during percolation through the soil media”, *Clean Soil Air Water*, 42 (8), 1036-1043, (2013).

Aksoy, A. and Ünlü, K., “Tarımda geri kullanım teknolojileri, toprak-akifer sistemleri arıtım ve yeraltında depolama”, (27 Nisan 2019), <https://www.slideserve.com/strom/tarimda-ger-kullanım-teknoloj-ler-toprak-ak-fer-s-stemler-aritim-ve-yeraltında-depolama>, (2005).

Amy, G. and Drewes, J., “Soil aquifer treatment (SAT) as a natural and sustainable wastewater reclamation/reuse technology: Fate of wastewater effluent organic matter (EfOM) and trace organic compounds”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 129 (1-3), 19-26, (2007).

Aydın, F. and Ardalı, Y., “Seawater desalination technologies”, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 30. 156-178, (2012).

Başaran, Y., “Türkiye’de deniz suyundan içme suyu üretiminin maliyet değerlendirmesi”, *Uzmanlık Tezi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, (2005).

Betancourt, W.Q., Schijven, J., Regnery, J., Wing, A., Morrison, C.M., Drewes, J.E. and Gerb, C.P., “Variable non-linear removal of viruses during transport through a saturated soil column”, *Journal of Contaminant Hydrology*, 223, 103479, (2019).

Cha, W., Kim, J. and Choi, H., “Evaluation of steel slag for organic and inorganic removals in soil aquifer treatment”, *Water Research*, 40 (5), 1034-1042, (2006).

Denizli Merkez Atıksu Arıtma Tesisi, “Atıksu arıtma tesisinin projelendirmeye esas olan parametreleri”, (23 Nisan 2019), <https://www.deski.gov.tr/denizli-merkez-atıksu-arıtma-tesisi>

Drewes, J.E. and Jekel, M., “Behavior of DOC and AOX using advanced treated wastewater for groundwater recharge”, *Water Research*, 32, 3125-3133, (1998).

EPA, “Wastewater technology fact sheet: rapid infiltration land treatment”, Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency, Office of Water, (2003).

Essandoh, H.M.K., Tizaoui, C. and Mohamed, M.H.A., “Removal of dissolved organic carbon and nitrogen during simulated soil aquifer treatment”, *Water Research*, 47 (11), 3559-3572, (2013).

Esser, K., “Natural wastewater treatment in the tropics”, *Noragric Brief, Centre for Environment and Development Studies*, 99 (6), (1999).

Fox, P., Aboshanp, W. and Alsamadi, B., “Analysis of soils to demonstrate sustained organic carbon removal during soil aquifer treatment”, *Environmental Quality*, 34, 156-163, (2005).

Grady, L., Daigger, G.T. and Lim, H.C., “Biological wastewater treatment”, Marcel Dekker Inc, (1999).

Güngör, K. and Ünlü, K., “Nitrite and nitrate removal efficiencies of soil aquifer treatment columns”, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 29, 159-170, (2005).

Idelovitch, E., Icekson-Tal, N., Avraham, O. and Michail, M., “The long-term performance of soil aquifer treatment (SAT) for effluent reuse”, *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4), 239-246, (2003).

Idelovitch, E., “SAT (soil aquifer treatment)-the long-term performance of the Dan Region reclamation project”, Washington D.C.: The World Bank Water Week, (2003).

Lance, J. C. and Whisler, F.D., “Nitrogen balance in soil columns intermittently flooded with secondary sewage effluent”, *Journal of Environmental Quality*, 1 (2), 180-186, (1972).

Lee, S.Y., Lee, J.U., Choi, H. and Kim, K.W., “Sorption behaviors of heavy metals in SAT (soil aquifer treatment) system”, *Water Science and Technology*, 50 (2), 263-268, (2004).

Lin, C., Shacahr, Y. and Banin, A., “Heavy metal retention and partitioning in a large-scale soil-aquifer treatment (SAT) system used for wastewater reclamation. *Chemosphere*”, 57, 1047-1058, (2004).

Martins, T., Leitãoa, T.E. and Carvalho, M.R., “Assessment of wastewater contaminants retention for a soil-aquifer treatment system using soil-column experiments”, *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 332 – 335, (2017).

Metcalf and Eddy., *Wastewater engineering: treatment and reuse* (third ed.) Singapore: McGraw Hill, Inc, (1991).

Miotlinski, K., Barry, K., Dillon, P. and Breton, K., “Alice springs SAT project hydrological and water quality monitoring report 2008-2009”, CSIRO Water for a Healthy Country National Research Flagship, (2010).

Nadav, I., Arye, G., Tarchitzky, J. and Chen, Y., “Enhanced infiltration regime for treated-wastewater purification in soil aquifer treatment (SAT)”, *Journal of Hydrology*, 420, 275-283, (2012).

Nagarajappa, D.P., Manjunatha, K. and Manjunath, N.T, “Effects of soil types on performance of soil aquifer treatment (SAT) System”, Indian Geotechnical Conference, (2010).

Nema, P., Ojha, C.S.P., Kumar, A. and Khanna, P., “Techno-economic evaluation of soil-aquifer treatment using primary effluent at Ahmedabad, India”, *Water Resource*, 35 (9), 2179-2190, (2001).

Quanrud, D.M., Arnold, R.G., Wilson, L.G. and Conklin, M.H., “Effect of soil type on water quality improvement during soil aquifer treatment”, *Water Science and Technology*, 33 (10-11), 419-431, (1996).

Quanrud, D.M., Hafer, J., Karpiscak, M.M., Zhang, J., Lansey, K.E. and Arnold, R.G., “Fate of organics during soil-aquifer treatment: sustainability of removals in the field”, *Water Research*, 37, 3401-3411, (2003).

Reemtsma, T., Gnir, R. and Jekel, M., “Infiltration of combined sewer overflow and tertiary municipal wastewater: an integrated laboratory and field study on nutrients and dissolved organics”, *Water Research*, 34 (4), 1179-1186, (2000).

Sharma, S.K., Harun, C.M. and Amy, G., “Framework for assesment of performance of soil aquifer treatment systems”, *Water Science and Technology*, 57 (6), 941- 946, (2008).

Shuang, X., Qing, L.Z., Liang, W. and Nan-Qi, R., “Behavior and characteristics of dissolved matter during column studies aquifer treatment”, *Water Research*, 43, 499-507, (2009).

Viswanathan, M.N., Al Senafy, M.N., Rashid, T., Al-Awadi, E. and Al-Fahad, K., “Improvement of tertiary wastewater quality by soil aquifer treatment”, *Water Science and Technology*, 40 (7), 159-163, (1999).

Westerhoff, P. and Pinney, M., “Dissolved organic carbon transformations during laboratory-scale groundwater recharge using lagoon-treated wastewater”, *Waste Management*, 20, 75-83, (2000).

Wilson, L.G., Amy, G.L., Gerba, C.P., Gordon, H., Johnson, B. and Miller, J., “Water quality changes during soil aquifer treatment of tertiary effluent”, *Water Environment Research*, 67 (3), 371-376, (1995).

Xue, S., Zhao, Q., Wei, L. and Ren, N., “Behavior and characteristics of dissolved organic matter during column studies of soil aquifer treatment”, *Water Research*, 43 (2), 499–507, (2009).

Yun-zheng, P.I. and Jian-long W., “A field study of advanced municipal wastewater treatment technology for artificial groundwater recharge”, *Journal of Environmental Sciences*, 18 (6), 1056-1060, (2006).

Zhang, Z., Lei, Z., Zhang, Z., Sugiura, N., Xu, X. and Yin, D., “Organics removal of combined wastewater through shallow soil infiltration treatment: A field and laboratory study”, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 657-665, (2007).

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İlayda TOP

Doğum Yeri ve Tarihi : Kırklareli 24.09.1994

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : ilayda468@gmail.com

İletişim Adresi : Mehmetçik Mah. Doğandemircioğlu Cad.
No:12 Ölmez Apt. Daire:4 Pamukkale /Denizli